ГРИГОРЬЕВ В. А., КОЛАЧ Т. А.,
СОКОЛОВСКИЙ В. С., ТЕМКИН Р. М.

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО ТЕПЛООБМЕННЫМ АППАРАТАМ

Под редакцией
доктора техн. наук, проф. П. Д. ЛЕБЕДЕВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

ЭТ-5-3

В справочнике приведены основные типы отечественных теплообменных аппаратов, применяемых в различных отраслях промышленности. Приводятся методические указания к выбору теплообменного аппарата.

Справочник предназначается для работников промышленности и студентов теплоэнергетических специальностей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В справочнике представлены основные конструкции теплообменных аппаратов, изготовляемые в настоящее время отечественными заводами для энергетической, химической, нефтяной и металлургической промышленности. По сложившейся традиции сушильные аппараты, промышленные печи и аналогичные им устройства к теплообменным аппаратам не относятся и в справочнике не рассматриваются.

Сведения, приводимые в справочнике, могут быть полезными при решении ряда инженерных задач. Перечислим наиболее часто встречающиеся случаи.

Некоторые агрегаты, например паровые или газовые турбины, холодильные машины и т. п., изготовляют комплектно со всем вспомогательным оборудованием, в том числе и с теплообменными аппаратами. В этом случае задачей проектировщика является только компоновка теплообменных аппаратов, для которой необходимо знать их габариты, приведенные в справочнике.

В другом случае бывает необходимо подобрать теплообменник для какого-либо технологического процесса или для отопления, вентиляции, теплофикации и т. п. Если промышленность изготовляет теплообменники требуемого назначения, следует выбрать его тип по справочнику и выполнить так называемые проверочные расчеты — тепловой, гидравлический и расчет на прочность, которые определят наиболее подходящий теплообменник из серии, имеющейся в справочнике.

Более сложным является случай, когда промышленность не изготовляет теплообменных аппаратов для данной цели и его необходимо выбрать из числа аппаратов, выпускаемых для другого назначения. В сходственных случаях может оказаться возможным не проектировать новый теплообменный аппарат, а конструкцию, применяемую в какой-либо отрасли промышленности, применить в другой отрасли промышленности и для другого назначения, если рациональность этого подтверждает проверочный тепловой, гидравлический и прочностной расчеты.

В справочнике в ряде таблиц типоразмеров аппаратов указаны заводы-изготовители. Однако здесь возможны некоторые неточности, так как в настоящее время происходит перераспределение номенклатуры изготовляемого заводами оборудования. Новый завод-изготовитель может быть установлен путем запроса прежнего.

Краткий справочник составлен коллективом кафедры «Сушильные и теплообменные устройства» Московского энергетического института. Первая глава написана совместно доц. Т. А. Колачем и к. т. н. В. А. Григорьевым. Вторая глава подготовлена инж. Р. М. Темкиным, третья В. А. Григорьевым, четвертая и шестая ассистентом В.С.Соколовским, пятая Т. А. Колачем, седьмая Р. М. Темкиным совместно с В.С. Соколовским. Справочник предназначается для инженерно-технического персонала проектно-конструкторских бюро и может быть использован в качестве пособия для дипломного и курсового проектирования студентами по специальности «Промышленная теплоэнергетика».

Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания, способствующие улучшению справочника.

Авторы

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

1-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Теплообменными аппаратами называют устройства, предназначенные для передачи тепла от одного теплоносителя к другому для осуществления различных тепловых процессов, например, нагревания, охлаждения, кипения, конденсации или более сложных физико-химических процессов — выпарки, ректификации, абсорбции и т. п.

Все теплообменные аппараты по способу передачи тепла могут быть разделены на две большие группы: поверхностные аппараты и аппараты смешения. В поверхностных теплообменных аппаратах передача тепла от одного теплоносителя к другому осуществляется с участием твердой стенки. Процесс теплопередачи в смесительных теплообменных аппаратах осуществляется путем непосредственного контакта и смешения жидких и газообразных теплоносителей.

Поверхностные теплообменные аппараты в свою очередь подразделяют на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах тепло от одного теплоносителя к другому передается через разделяющую их стенку из теплопроводного материала. В регенеративных теплообменных аппаратах теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева, которая в первый период нагревается, аккумулируя тепло «горячего» теплоносителя, а во второй период охлаждается, отдавая тепло «холодному» теплоносителю.

Регенеративные теплообменные аппараты в большинстве случаев являются аппаратами периодического действия, а рекуперативные — чаще непрерывного действия.

Рекуперативные теплообменные аппараты могут быть классифицированы по следующим признакам.

I. По роду теплоносителей в зависимости от их агрегатного состояния:

паро-жидкостные;
жидкостно-жидкостные;
газо-жидкостные;
газо-газовые;
паро-газовые.

II. По конфигурации поверхности теплообмена:
трубчатые аппараты с прямыми трубками;
спиральные;
пластинчатые;
змеевиковые;
ребристые.

III. По компоновке поверхности нагрева:
типа «труба в трубе»;
кожухо-трубчатые аппараты;
оросительные аппараты (не имеющие ограничивающего корпуса) и т. д.

Теплообменные аппараты поверхностного типа, кроме того, могут быть классифицированы по назначению (подогреватели, холодильники и т. д.); по взаимному направлению потоков рабочих сред (прямоток, противоток, смешанный ток и т. д.); по материалу поверхности теплообмена; по числу ходов и т. д.

1-2. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

1. Виды расчетов

Существует два вида тепловых расчетов теплообменных аппаратов: конструкторский (проектный) расчет и поверочный расчет.

Конструкторский расчет производят при проектировании теплообменного аппарата, когда известны или заданы расходы теплоносителей и их параметры на входе и выходе из теплообменного аппарата. Целью конструкторского расчета является определение величины поверхности теплообмена выбранного типа теплообменного аппарата.

Поверочные тепловые расчеты выполняют для выявления возможности использования готовых или стандартных теплообменных аппаратов для тех или иных целей, определяемых технологическими требованиями.

2. Основные уравнения тепловых расчетов рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного и периодического действия

Конструкторский расчет теплообменного аппарата непрерывного действия основан на совместном решении уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи.

Уравнение теплового баланса в общем виде можно представить следующим образом:

$$Q = G_1 \Delta i_1 = G_2 \Delta i_2 + Q_п, \tag{1-1}$$

где Q — количество передаваемого тепла, *ккал/ч*;
G_1 и G_2 — расходы первичного и вторичного теплоносителей соответственно, *кг/ч*;
Δi_1 и Δi_2 — изменения энтальпий (теплосодержаний) теплоносителей, *ккал/кг*;
$Q_п$ — тепловые потери, *ккал/ч*.

Если тепловые потери в окружающую среду $Q_п$ выражать в долях от количества тепла, полученного вторичным теплоносителем, то уравнение (1-1) примет вид:

$$Q = G_1 \Delta i_1 = \eta_п G_2 \Delta i_2 \ [ккал/ч], \tag{1-2}$$

где $\eta_п$ — коэффициент тепловых потерь, определяемый опытным путем.

Уравнению (1-2) можно придать различную форму в зависимости от конкретных условий протекания процесса.

При отсутствии изменения агрегатного состояния теплоносителя в теплообменнике

$$\Delta i = c_p (t'' - t') \ [ккал/кг], \tag{1-3}$$

где t' и t'' — начальная и конечная температуры рабочей среды соответственно, °C;

c_p — средняя теплоемкость теплоносителя в интервале температур $t'' - t'$, *ккал/кг·град*.

При изменении агрегатного состояния теплоносителя, например, в результате конденсации

$$\Delta i = c_{рп} (t_п - t_н) + r + c_ж (t_н - t_ж) \ [ккал/кг], \tag{1-4}$$

где $t_п$ и $t_ж$ — температуры поступающего в теплообменный аппарат пара и уходящего конденсата, °C;

$t_н$ — температура насыщения, °C;

$c_{рп}$ и $c_ж$ — средние теплоемкости перегретого пара и конденсата, *ккал/кг·град*;

r — скрытая теплота парообразования, *ккал/кг*.

Расходы теплоносителей при теплообмене без изменения агрегатного состояния теплоносителей определяют на основании уравнения (1-2) по формулам

$$G_1 = \frac{G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \eta_п}{c_1 (t_1' - t_1'')}; \tag{1-5}$$

$$G_2 = \frac{G_1 c_1 (t_1' - t_1'')}{c_2 (t_2'' - t_2') \eta_п}, \tag{1-6}$$

где $G_2 c_2 = W_2$ и $G_1 c_1 = W_1$ — водяные эквиваленты теплоносителей, отношение которых при $\eta_п = 1$ обратно пропорционально изменению температур однофазных рабочих сред, т. е. $\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_1''}$.

Расход первичного теплоносителя для теплообмена при конденсации первичного теплоносителя и неизменном агрегатном состоянии вторичного теплоносителя определяют по формуле

$$D_1 = \frac{G_2 c_2 (t_2'' - t_2') \eta_п}{i_{1п} - c_{1к} t_к} \ [кг/ч], \tag{1-7}$$

а при конденсации первичного теплоносителя и испарении вторичного расход первичного теплоносителя определяют по формуле

$$D_1 = \frac{D_2(i_{2п} - c_ж t_ж)\eta_п}{i_{1п} - c_к t_к}, \tag{1-8}$$

где D_1 и D_2 — расходы первичного и вторичного пара, *кг/ч*;
$i_{1п}$ и $i_{2п}$ — энтальпия первичного и вторичного пара, *ккал/кг·град*;
$t_к$ — температура конденсата первичного теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата, °С;
$t_ж$ — температура жидкого вторичного теплоносителя на входе в теплообменный аппарат, °С;
$c_к$ — теплоемкость конденсата первичного теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата, *ккал/кг·град*;
$c_ж$ — теплоемкость жидкого вторичного теплоносителя на входе в теплообменный аппарат, *ккал/кг·град*.

Уравнение теплопередачи в общем виде можно представить следующим образом:

$$Q = kF\Delta t_{ср}, \tag{1-9}$$

где Q — количество тепла, передаваемое в течение часа, *ккал/ч*;
k — коэффициент теплопередачи, *ккал/м²·ч·град*;
F — расчетная поверхность теплообмена, *м²*;
$\Delta t_{ср}$ — средний температурный напор, °С.

Расчетная поверхность теплообмена определяется как

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{ср}}, \tag{1-10}$$

где Q известно из уравнения (1-2). Методики определения величин k и $\Delta t_{ср}$ приводятся ниже (см. стр. 15).

При поверочном расчете теплообменного аппарата непрерывного действия чаще всего бывает необходимо определить конечные температуры теплоносителей t_1'' и t_2'' и количество переданного тепла Q. В этом случае обычно бывают известны начальные температуры теплоносителей t_1' и t_2', величина поверхности нагрева F, расходы теплоносителей G_1 и G_2, примерные значения их средних теплоемкостей c_{1m} и c_{2m} и ориентировочное значение коэффициента теплопередачи k.

Вид расчетных формул зависит от схемы движения теплоносителей, а также от характера процесса теплообмена (с изменением или без изменения агрегатного состояния теплоносителей).

При теплопередаче без изменения агрегатного состояния теплоносителей в случаях прямотока (в теплообменном аппарате горячий и холодный теплоносители протекают параллельно и в одном направлении) температуру теплоносителей на выходе из аппарата можно определить по формулам

$$t_1'' = t_1' - (t_1' - t_2')\Pi; \tag{1-11}$$

$$t_2'' = t_2' + (t_1' - t_2')\Pi\frac{W_1}{W_2}. \tag{1-12}$$

В случае противотока (теплоносители протекают параллельно, но в противоположных направлениях)

$$t_1'' = t_1' - (t_1' - t_2')\,Z; \qquad (1\text{-}13)$$

$$t_2'' = t_2' + (t_1' - t_2')\,Z\,\frac{W_1}{W_2}. \qquad (1\text{-}14)$$

Значения величин Π и Z даны в табл. 1-1 и 1-2.

Таблица 1-1

Значения функции Π в формулах (1-11) и (1-12)

W_1/W_2	kF/W_1							
	0,033	0,10	0,33	0,30	1	2	3	∞
0	0,033	0,10	0,28	0,39	0,63	0,86	0,96	1,00
0,01	0,033	0,10	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	0,99
0,05	0,033	0,10	0,28	0,39	0,62	0,84	0,91	0,95
0,10	0,033	0,10	0,28	0,38	0,61	0,81	0,89	0,91
0,20	0,033	0,10	0,27	0,38	0,58	0,76	0,81	0,83
0,50	0,033	0,10	0,26	0,35	0,52	0,63	0,66	0,67
1,0	0,033	0,09	0,25	0,32	0,43	0,49	0,50	0,50
2,0	0,033	0,09	0,21	0,26	0,32	0,33	0,33	0,33
5,0	0,032	0,08	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
10,0	0,028	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
20,0	0,024	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
50,0	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
100,0	0,009	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Таблица 1-2

Значения функции Z в формулах (1-13) и (1-14)

W_1/W_2	kF/W_1							
	0,033	0,10	0,33	0,50	1	2	3	∞
0,1	0,033	0,10	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	1,00
0,01	0,033	0,10	0,28	0,39	0,63	0,86	0,95	1,00
0,05	0,033	0,10	0,28	0,39	0,62	0,86	0,94	1,00
0,10	0,033	0,10	0,28	0,38	0,61	0,85	0,94	1,00
0,20	0,033	0,10	0,28	0,38	0,60	0,83	0,93	1,00
0,50	0,033	0,10	0,26	0,36	0,57	0,78	0,89	1,00
1,0	0,033	0,10	0,25	0,34	0,51	0,68	0,77	1,00
2,0	0,033	0,09	0,23	0,29	0,39	0,46	0,49	0,50
5,0	0,032	0,08	0,16	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20
10,0	0,028	0,06	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
20,0	0,024	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
50	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
100,0	0,010	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Приведенные формулы применимы лишь к двум наиболее простым схемам движения теплоносителей (прямоток и противоток), причем для случаев, когда можно принять независимость водяных эквивалентов теплоносителей от температуры. Точно определить значение коэффициента теплопередачи, не зная конечных температур теплоносителей нельзя. Поэтому часто использование формул (1-11)—(1-14) не дает достаточно точных результатов. Для получения точных результатов поверочный расчет необходимо вести по методу последовательных приближений. По этому методу задаются значениями конечных температур и производят конструктивный расчет — определяют поверхность теплообмена. Правильно выбранными конечными температурами считают такие их значения, расчет по которым дает расчетную поверхность теплообмена, совпадающую с действительной поверхностью.

При теплопередаче с конденсацией пара первичного теплоносителя расчет температуры вторичного теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата производится по формуле

$$t_2'' = t_н - (t_н - t_2')\, e^{-\frac{kF}{W_2}}; \qquad (1\text{-}15)$$

при кипении жидкости

$$t_1'' = t_н + (t_1' - t_н)\, e^{-\frac{kF}{W_1}}, \qquad (1\text{-}16)$$

где t_1' и t_2' — начальные температуры теплоносителей, не изменяющих агрегатного состояния, °С;
$t_н$ — температура насыщения, °С;
k — коэффициент теплопередачи, *ккал/м²·ч·град*.
W_1 и W_2 — водяные эквиваленты теплоносителей, не изменяющих агрегатного состояния, *ккал/ч·град*;
F — поверхность теплообмена, *м²*.

Тепловой расчет теплообменных аппаратов периодического действия.

Если температура одного теплоносителя не изменяется (например, нагревание продукта за счет тепла конденсирующегося пара), то расчет производится по следующим формулам:

$$Q = G_2 c_{2m} (t_2'' - t_2')\, \eta_п = D (i - i_к)\, \tau \ [ккал]; \qquad (1\text{-}17)$$

$$Q = kF \Delta t_{ср} \tau \ [ккал], \qquad (1\text{-}18)$$

где G_2 — количество продукта в аппарате, *кг*;
t_2' и t_2'' — начальная и конечная температуры продукта, °С;
c_{2m} — средняя теплоемкость продукта, *ккал/кг·град*;
D — часовой расход греющего пара, *кг/ч*;
i и $i_к$ — начальная и конечная энтальпия греющего пара, *ккал/кг*;
τ — продолжительность процесса теплообмена, *ч*.

Поверхность теплообмена при конструкторском расчете может быть определена по формуле

$$F = \frac{G_2 c_{2m}}{k\tau} \ln \frac{t_н - t_2'}{t_н - t_2''} \ [м^2], \qquad (1\text{-}19)$$

где $t_н$ — температура насыщения греющего пара, °С,

Конечная температура продукта при поверочном расчете

$$t_2'' = t_н - (t_н - t_2') e^{-\frac{kF\tau}{G_2 c_{2m}}}. \qquad (1\text{-}20)$$

Средняя температура нагреваемого продукта

$$t_2^{ср} = t_н - \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \dfrac{t_н - t_2'}{t_н - t_2''}}. \qquad (1\text{-}21)$$

Расход греющего пара

$$D = kF \frac{t_н - t_2'}{i_п - t_н} e^{-\frac{kF\tau}{G_2 c_2}}. \qquad (1\text{-}22)$$

При одновременном изменении температур обоих теплоносителей во времени, а одного из них — и вдоль поверхности нагрева расчет гораздо сложнее и в предположении постоянства во времени расхода охлаждающего теплоносителя при введении в расчет средних значений (по времени и вдоль поверхности теплообмена) коэффициента теплопередачи проводится на основании следующих зависимостей [Л. 18]. Уравнение теплового баланса

$$Q = G_1 c_1 (t_1' - t_1'') \eta_п = W \Delta\vartheta_{ср} \tau \ [ккал]. \qquad (1\text{-}23)$$

Уравнение теплообмена

$$Q = kF \Delta t_{ср} \tau \ [ккал], \qquad (1\text{-}24)$$

где

G_1—вес охлаждаемой среды, *кг*

W—водяной эквивалент охлаждающей среды, *ккал/ч·град*;

$\Delta\vartheta_{ср} = t_2'' - t_2'$ — среднее изменение температуры охлаждающей среды в процессе, °С.

Для времени $d\tau$

$$dQ = W \Delta\vartheta d\tau = kF \Delta t \, d\tau, \qquad (1\text{-}24а)$$

откуда

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \frac{kF}{W} = x. \qquad (1\text{-}25)$$

Величина x для данного случая постоянна согласно принятым ранее допущениям о постоянстве коэффициента теплопередачи и расхода охлаждающего теплоносителя.

Вводится понятие характеристики теплообменного аппарата

$$y = \frac{e^x - 1}{e^x} = \frac{\Delta\vartheta_{ср}}{t_1 - t_2'}, \qquad (1\text{-}26)$$

значение которой может быть также выражено соотношением

$$y = \frac{\Delta\vartheta_{ср}}{t_1' - t_1''} 2{,}3 \lg \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2'}. \qquad (1\text{-}27)$$

При конструкторском расчете аппарата обычно задается величина среднего нагрева охлаждающего теплоносителя $\Delta\vartheta_{w\,ср}$, а также значения t_1', t_1'', t_2', кроме того, известны бывают значения G_1c_1 и τ.

В этом случае определение величины F производится в следующем порядке: по уравнению (1-27) определяется величина y, затем по уравнению теплового баланса (1-23) определяют значения Q и W'.

Конечная температура охлаждающей воды в начале процесса

$$t''_{2нач} = t'_2 + t'_w = t'_2 + (t'_1 - t'_2)\,y, \tag{1-28}$$

где

$$t'_w = (t'_1 - t'_2)\,y \tag{1-29}$$

и в конце процесса

$$t''_{2кон} = t'_2 + t''_w, \tag{1-30}$$

где

$$t''_w = (t''_1 - t'_2)\,y. \tag{1-31}$$

Средняя разность температур

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta\vartheta_{w\,ср}}{x}, \tag{1-32}$$

где

$$x = 2{,}3\lg\frac{1}{1-y}. \tag{1-33}$$

Поверхность теплообмена определяют, исходя из уравнения теплообмена (1-24).

При выполнении поверочных расчетов величина $x=kF/W$ бывает обычно известна, что позволяет сразу же найти y, и по формулам, приведенным выше, все интересующие значения температур.

Определение коэффициента теплопередачи, знание которого позволяет затем определить поверхность нагрева в соответствии с основной расчетной формулой (1-9), является важнейшим элементом теплового расчета любого теплообменного аппарата.

Коэффициент теплопередачи для плоской стенки может быть найден по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{заг}} \quad [ккал/м^2\cdot ч\cdot град]. \tag{1-34}$$

Для цилиндрической стенки

$$k = \frac{1}{d_{ср}\left(\frac{1}{\alpha_1 d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_{нар}}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{нар}}\right) + R_{заг}} \quad [ккал/м^2\cdot ч\cdot град], \tag{1-35}$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи с внутренней и внешней сторон стенки, *ккал/м²·ч·град*;

δ — толщина стенки, *м*;

$d_{вн}$, $d_{нар}$, $d_{ср}$ — внутренний, наружный и средний диаметры трубки, *м*;

$R_{заг}$ — термические сопротивления, учитывающие загрязнение с обеих сторон стенки (накипь, сажа и т. д.), *м²·ч·град/ккал*;

λ — коэффициент теплопроводности материала стенки, *ккал/м·ч·град*.

При вычислении $d_{ср}$ необходимо соблюдать следующее правило:

если $\alpha_1 > \alpha_2$, то $d_{ср} = d_{нар}$;

если $\alpha_1 \approx \alpha_2$, то $d_{ср} = 0{,}5\,(d_{вн} + d_{нар})$;

если $\alpha_1 < \alpha_2$, то $d_{ср} = d_{вн}$.

При расчете теплообменных аппаратов, толщина стенок трубок которых невелика, вместо формулы (1-35) может быть применена формула (1-34). Если при этом $d_{нар}/d_{вн} < 1{,}5$, погрешность расчета не превышает 3%.

Значения $R_{заг}$ определяются опытным путем или, если известны толщины слоев загрязнений на внутренней и наружной поверхностях стенки (δ_1 и δ_2) и теплопроводность (λ_1 и λ_2) их, определяются расчетом.

Для формулы (1-34)

$$R_{заг} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}.$$

Для формулы (1-35)

$$R_{заг} \approx \left[\frac{\delta_1}{\lambda_1}\,\frac{d_2}{d_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}\right].$$

Другим способом учета влияния загрязнений является введение коэффициента использования поверхности теплообмена φ.

В этом случае действительный коэффициент теплопередачи определяется путем умножения теоретически подсчитанного коэффициента теплопередачи на величину φ:

$$k_{действ} = k\varphi. \tag{1-36}$$

В большинстве случаев $\varphi = 0{,}7 \div 0{,}8$.

Из уравнений (1-34) и (1-35) следует, что для определения коэффициента теплопередачи необходимо знание коэффициентов теплоотдачи с двух сторон теплопередающей стенки. Методы определения коэффициентов теплоотдачи для различных случаев теплообмена подробно изложены в многочисленной литературе [Л. 4, 18, 20, 21, 22, 33].

При расчете теплообменного аппарата весьма важным является точное **определение средней разности температур между теплоносителями (температурного напора)** $\Delta t_{ср}$.

Характер расчетной зависимости для определения температурного напора $\Delta t_{ср}$ зависит от направлений взаимного движения теплоносителей, которые могут быть следующими: прямоток, противоток, однократно перекрестный, многократно перекрестный, параллельно-смешанный и последовательно-смешанный ток.

При прямотоке и противотоке, а также при постоянной температуре одной из сред

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{б}}{\Delta t_{м}}}, \tag{1-37}$$

где $\Delta t_{б}$ и $\Delta t_{м}$ — соответственно больший и меньший температурный напор между теплоносителями по краям поверхности теплообмена, °С.

Формула (1-37) при $\Delta t_{б}/\Delta t_{м} \leqslant 1{,}7$ может быть с погрешностью менее 2% заменена формулой

$$\Delta t_{ср} \approx \frac{\Delta t_{б} + \Delta t_{м}}{2}. \tag{1-38}$$

При всех других схемах течения

$$\Delta t_{ср} = \psi \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}, \tag{1-39}$$

где t_1' и t_1'' — температуры греющего теплоносителя на входе в аппарат и на выходе из него, °С;

t_2' и t_2'' — то же для нагреваемого теплоносителя, °С;

ψ — поправочный коэффициент, определяемый как функция вспомогательных величин P и R, причем

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'}; \tag{1-40}$$

$$R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'}. \tag{1-41}$$

Значения поправочного коэффициента ψ для различных схем движения теплоносителей приведены на графиках рис. 1-1—1-11, где они даны в зависимости от характера взаимного направления потоков рабочих сред. При каждом из графиков имеется соответствующая схема движения рабочих сред. Штриховка на этих схемах указывает на разделение потоков рабочих сред на отдельные струи. Рис. 1-7, например, соответствует перекрестному пластинчатому теплообменному аппарату, рис. 1-8 — пучку труб, рис. 1-9 — одной трубе в поперечном потоке.

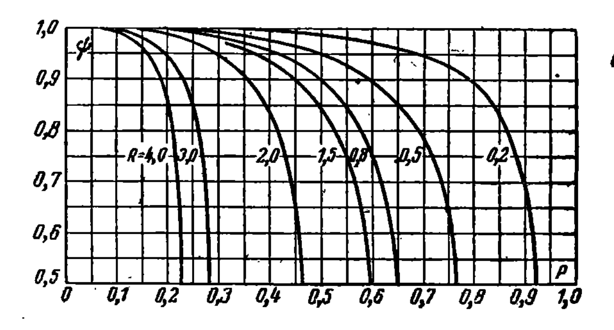


Рис. 1-1.

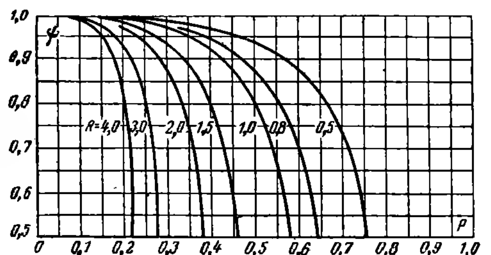


Рис. 1-2.

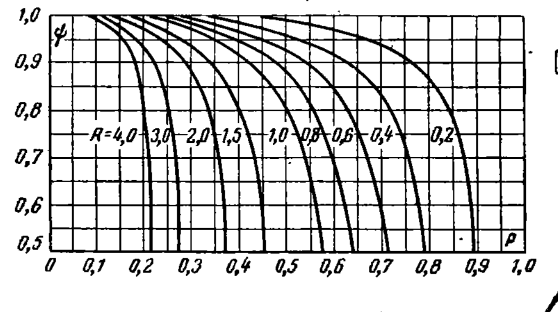


Рис. 1-3.

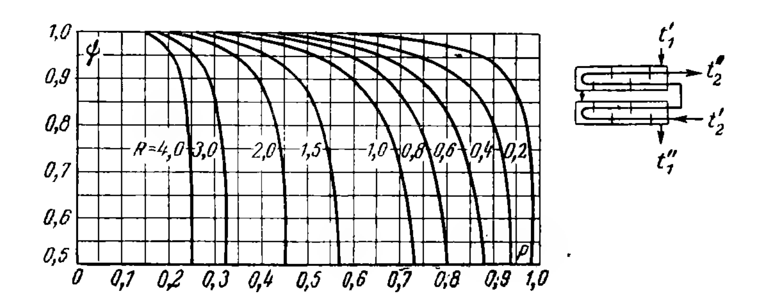


Рис. 1-4.

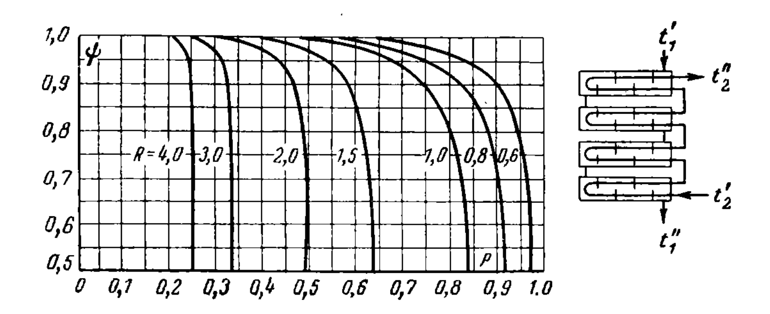


Рис. 1-5.

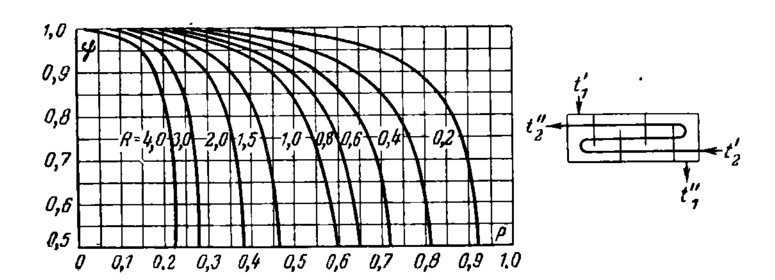


Рис. 1-6.

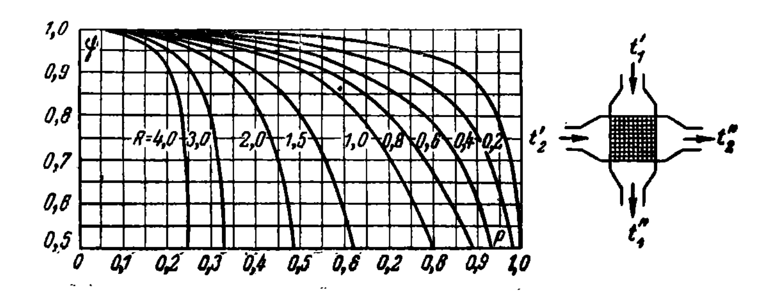


Рис. 1-7.

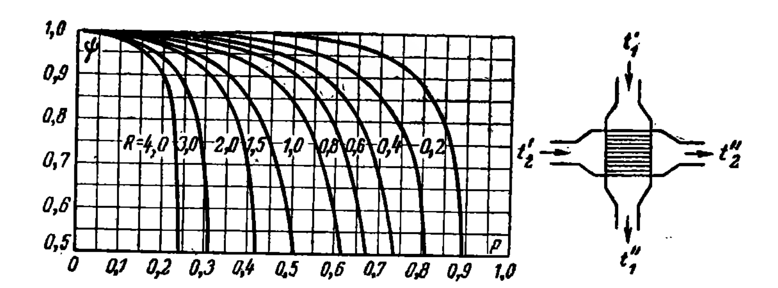


Рис. 1-8.

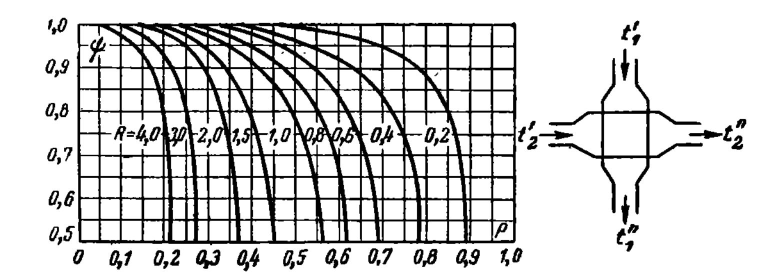


Рис. 1-9.

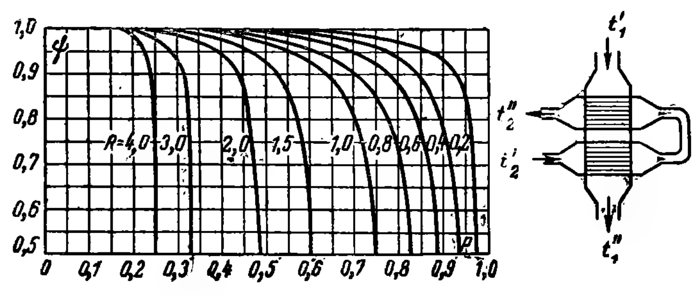


Рис. 1-10.

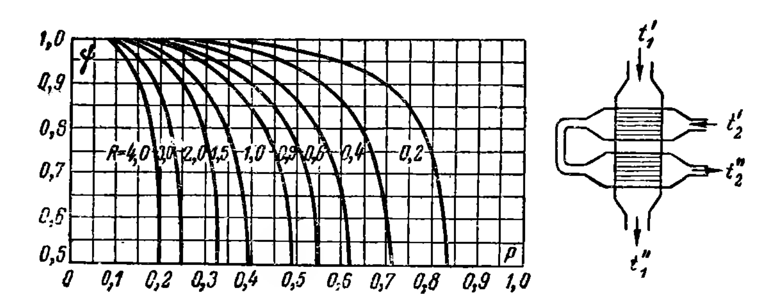


Рис. 1-11.

Изложенная методика определения $\Delta t_{ср}$ справедлива при условии, что водяные эквиваленты обоих теплоносителей и коэффициент теплопередачи практически не меняются вдоль поверхности нагрева. Если это условие не выполняется, то теплообменный аппарат необходимо рассчитывать по участкам, для которых эти величины можно принять постоянными (подробно см. [Л. 20]).

Специфична методика теплового расчета теплообменных аппаратов, поверхность теплообмена которых состоит из оребренных труб. Основным расчетным соотношением здесь является уравнение

$$Q = k_{р.с}(t_1 - t_2) F_{р.с} \; [ккал/ч], \tag{1-42}$$

где $k_{р.с}$ — коэффициент теплоотдачи ребристой стены, *ккал/м²·ч·град*;

$F_{р.с}$ — полная площадь ребристой поверхности.

Методика определения $k_{р.с}$ и $F_{р.с}$ дана в [Л.21].

3. Определение конструктивных размеров

Поверхность нагрева кожухотрубчатого теплообменного аппарата складывается из поверхностей отдельных труб трубного пучка так, что

$$F = \pi d_{ср} L n \; [м^2], \tag{1-43}$$

где $d_{ср}$ — средний диаметр трубки, *м*;
L — длина трубки, *м*;
n — число трубок.

$$n = \frac{4G}{\pi d_{вн}^2 w \gamma 3\,600}, \qquad (1\text{-}44)$$

где G — расход теплоносителя в трубном пространстве, *кг/ч*;
$d_{вн}$ — внутренний диаметр трубок, *м*;
w — скорость теплоносителя в трубках, *м/сек*;
γ — удельный вес теплоносителя, *кг/м³*.

Величина w для жидкости принимается обычно в пределах 0,5—1,5 *м/сек*, а для газов 5—12 *м/сек*. При компоновке труб в пучке принимается шаг трубок $S=(1{,}3\div1{,}5)d_{нар}$, но не менее, чем $d_{нар}+6$ *мм*.

Разбивка трубок на трубной доске может быть осуществлена либо по сторонам равностороннего треугольника, либо по концентрическим окружностям.

Внутренний диаметр корпуса одноходового теплообменника

$$D = D' + d_{нар} + 2к \ [см], \qquad (1\text{-}45)$$

где $d_{нар}$ — наружный диаметр трубки, *см*;
D' — диаметр, на котором размещается крайний ряд трубок (определяется по табл. 1-3);
$к$ — кольцевой зазор между крайними трубками и корпусом. По конструктивным соображениям принимается $k \geqslant 0{,}6$ *см*.

Таблица 1-3

Данные для определения диаметра D' кожухотрубного теплообменника

$\frac{D'}{S}$	Z_1	Z_2	$\frac{D'}{S}$	Z_1	Z_2
2	7	7	22	439	410
4	19	19	24	517	485
6	37	37	26	613	566
8	61	62	28	721	653
10	91	93	30	823	747
12	127	130	32	931	847
14	187	173	34	1 045	953
16	241	223	36	1 165	1 066
18	301	279	38	1 306	1 185
20	367	341	40	1 459	1 310

Примечание. Z_1—общее число труб, размещаемых на трубной доске по углам равносторонних треугольников („ромбическое" размещение); Z_2—общее число труб, размещаемых на трубной доске по концентрическим окружностям.

Внутренний диаметр многоходового теплообменника определяется с учетом размещения перегородок обычно графическим путем.

Расстояние между трубными досками (активная длина трубок)

$$l = \frac{F}{\pi d_{\text{нар}} n z}, \tag{1-46}$$

где n — число трубок в одном ходу;
z — число ходов.

Расстояние между сегментными перегородками может быть определено по уравнению

$$h = \frac{F_{\text{мж.тр}}}{D(1 - d_{\text{нар}}/S)}, \tag{1-47}$$

где $F_{\text{мж.тр}}$ — площадь поперечного сечения межтрубного пространства.

Ширина перегородок обычно принимается равной $(0{,}6 \div 0{,}8)\,D$.

Шаг спирали спирального теплообменника можно определить следующим образом:

$$S = b + \delta \ [\text{мм}], \tag{1-48}$$

где b — ширина канала [*мм*], принимается обычно 6—15 *мм*;
δ — толщина листа, *мм* (для стали $\delta = 2 - 8$ *мм*).

Каждый виток спиралей строится по радиусам r_1 и r_2, которые для первых витков равны:

$$r_1 = \frac{d}{2}; \quad r_2 = \frac{d}{2} + S,$$

где d — диаметр первого витка внутренней спирали.

Центры, из которых производят построение спиралей, отстоят друг от друга на расстояние S.

Число витков спирали находят по формуле

$$n = \frac{S - d}{4S} + \sqrt{\left(\frac{S - d}{4S}\right)^2 + \frac{l_0}{2\pi S}}, \tag{1-49}$$

где l_0 — длина спирали при числе витков n.

$$l_0 = \pi(d - S)n + 2\pi S n^2 \ [\text{мм}]. \tag{1-50}$$

Наружный диаметр спирального теплообменного аппарата

$$D = d + 2nS + \delta \ [\text{мм}]. \tag{1-51}$$

Поверхность нагрева пластинчатого теплообменного аппарата

$$F = ab(2n - 2)z \ [\text{м}^2], \tag{1-52}$$

где a и b — ширина и высота пластин, *м*;
n — число пластин;
z — число секций.

Длина одного виткa змеевикового теплообменного аппарата

$$l=\sqrt{\pi D_{зм}^2+h^2}\approx\pi D_{зм}\ [м], \quad (1\text{-}53)$$

где $D_{зм}$ — диаметр витка змеевика, *м*;

h — расстояние между осями соседних витков змеевика, *м*.

Общая длина змеевика

$$L=ln\approx\pi D_{зм}n=\frac{F}{\pi d}, \quad (1\text{-}54)$$

где n — число витков змеевика;

F — поверхность нагрева змеевика, $м^2$.

d — наружный диаметр трубы змеевика, *м*.

1-3. ВЫПАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Выпарные установки применяют для концентрирования растворов твердых нелетучих веществ путем удаления жидкого летучего растворителя в виде пара. Выпаривание обычно проводят при кипении раствора в отдельном выпарном аппарате (простое выпаривание) или в системе выпарных аппаратов, составляющих многокорпусную (многоступенчатую) выпарную установку (многократное выпаривание). При простом выпаривании получившийся в результате кипения раствора вторичный пар выбрасывают в атмосферу или направляют в конденсатор. При многократном выпаривании вторичный пар каждого аппарата используют в качестве греющего в следующем выпарном аппарате, в котором кипение раствора ведется при более низком давлении.

Простое выпаривание может проводиться как непрерывным, так и периодическим методом; многократное — только непрерывным методом.

В зависимости от взаимного направления пара и раствора, передаваемых из аппарата в аппарат при многократном выпаривании, различают выпарные установки прямоточные, противоточные, с параллельным и со смешанным током.

Многоступенчатые выпарные установки могут компоноваться из выпарных аппаратов различных конструкций.

Основные типы выпарных аппаратов приводятся в гл. 3.

1. Некоторые свойства растворов

Для расчетов выпарных установок необходимо иметь данные по таким свойствам растворов, как температура кипения ($t_{кип}$), температурная депрессия (Δ_1), под которой понимают разность между температурой кипения раствора и чистого растворителя при данном давлении, удельная теплоемкость ($c_р$), кинематическая вязкость (ν) и теплопроводность (λ).

Все указанные свойства раствора в основном определяются природой раствора и его концентрацией. Вязкость сильно зависит от температуры раствора, а депрессия — от давления. Обычно все свойства растворов находят по соответствующим таблицам [Л. 32, 33], составленным на основании опытных данных.

Зависимость температурной депрессии от давления может быть выражена приближенным уравнением И. А. Тищенко:

$$\Delta_1 = 0{,}003872\Delta_1' \frac{T^2}{r},$$

где Δ_1' — температурная депрессия при атмосферном давлении (берется из таблиц);
T — температура кипения раствора, °К;
r — теплота парообразования воды при давлении насыщения, *ккал/кг*.

2. Уравнения материального баланса

Количество выпаренной воды W при изменении концентрации раствора от b_1 до b_2

$$W = G\frac{b_2 - b_1}{b_2} \ [кг]. \qquad (1\text{-}55)$$

Концентрация раствора в выпарном аппарате

$$b_n = \frac{b_1 G}{G - \sum\limits_1^n W},$$

где G — начальный вес раствора, *кг*;
$\sum\limits_1^n W = W_1 + W_2 + \ldots + W_n$ — вес выпаренной воды в n корпусах, *кг*.

3. Тепловой расчет выпарной установки непрерывного действия

Поверхность нагрева выпарного аппарата при однократном выпаривании определяется по формуле

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{пол}}, \qquad (1\text{-}56)$$

где Q — количество тепла, передаваемого через поверхность нагрева выпарного аппарата, *ккал/ч*;
k — коэффициент теплопередачи, *ккал/м²·град·ч*;
$\Delta t_{пол}$ — полезная разность температур, °С.

$$\Delta t_{пол} = \Delta t - \Sigma\Delta, \qquad (1\text{-}57)$$

где $\Delta t = t' - t''$ — разность между температурами насыщения греющего и вторичного пара, °С;
$\Sigma\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ — сумма температурной, гидростатической и гидродинамической депрессий, °С.

Таблица 1-4

Расчетные коэффициенты формулы (1-61) для определения расхода пара в прямоточной выпарной установке

Коэффициент	Число корпусов			
	2	3	4	n
X	$2-\beta_2+\sigma_2$	$3-2\beta_2-2\beta_3+2\sigma_2+2\sigma_3$	$4-3\beta_2-4\beta_3-3\beta_4+3\sigma_2+4\sigma_3+3\sigma_4$	$n-(n-1)\beta_2-2(n-2)\beta_3+3(n-3)\beta_4-\ldots-(n-1)\beta_n+(n-1)\sigma_2+2(n-2)\sigma_3+\ldots$
Y	$2\beta_1+\beta_2$	$3\beta_1+2\beta_2+\beta_3$	$4\beta_1+3\beta_2+2\beta_3+\beta_4$	$n\beta_1+(n-1)\beta_2+(n-2)\beta_3+(n-3)\beta_4+\ldots+\beta_n$
Z_1	1	$2-\beta_3+\sigma_3$	$3-2\beta_2-2\beta_4+2\sigma_3+2\sigma_4$	Для 5-го корпуса $4-3\beta_3-4\beta_4-3\beta_5+3\sigma_3+4\sigma_4+3\sigma_5$
Z_2	—	1	$2-\beta_4+\sigma_4$	$3-2\beta_4-2\beta_5+2\sigma_4+2\sigma_5$
Z_3	—	—	1	$2-\beta_5+\sigma_5$

$$\beta_1=\frac{t_0-t_1}{i''_1-t_1};\quad \beta_2=\frac{t_1-t_2}{i''_2-t_2};\quad \beta_n=\frac{t_{n-1}-t_n}{i''_n-t_n};\quad \sigma_2=\frac{\tau_1-\tau_2}{i'_1-t_2};\quad \sigma_n=\frac{\tau_{n-1}-\tau_n}{i'_{n-1}-t_n},$$

здесь $t_0, t_1, \ldots, t_n$ — температуры раствора, °C;

$\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_n$ — энтальпии конденсата, *ккал/кг*;

$i'_1, i'_2, \ldots, i'_n$ — энтальпии греющего пара, *ккал/кг*;

$i''_1, i''_2, \ldots, i''_n$ — энтальпии вторичного пара, *ккал/кг*.

Примечания. 1. Индексы от 1 до n обозначают номера корпусов выпарной установки.

2. При составлении таблицы принято, что коэффициенты испарения α во всех корпусах равны единице (практически они бывают равными 0,92—0,99), а произведения двух или более коэффициентов самоиспарения β или σ равны нулю.

Таблица 1-5

Расчетные коэффициенты формулы (1-61а) для определения расхода пара в противоточной выпарной установке

Коэффициент	Число корпусов			
	2	3	4	n
X	$X_2=\frac{1}{1-\beta_1}+\frac{1}{1-\beta_1-\beta_2}+\beta_2+\sigma_2$	$X_3=\frac{1}{1-\beta_1}+\frac{1}{1-\beta_1-\beta_2}+\frac{1}{1-\beta_1-\beta_2-\beta_3}+\beta_2+\beta_3+\sigma_2+\sigma_3$	$X_4=X_3+\frac{1}{1-\beta_1-\beta_2-\beta_3-\beta_4}+\beta_4+\sigma_4$	$X_n=X_{n-1}+\frac{1}{1-\beta_1-\beta_2-\ldots-\beta_n}+\beta_n+\sigma_n$
Y	$2\beta_1+\beta_2$	$3\beta_1+2\beta_2+\beta_3$	$4\beta_1+3\beta_2+2\beta_3+\beta_4$	$n\beta_1+(n-1)\beta_2+(n-2)\beta_3+\ldots+\beta_n$
Z_1	$Z_1^{(2)}=\frac{1}{1-\beta_2}$	$Z_1^{(3)}=Z_1^{(2)}+\frac{1}{1-\beta_2-\beta_3}+\beta_3+\sigma_3$	$Z_1^{(4)}=Z_1^{(3)}+\frac{1}{1-\beta_2-\beta_3-\beta_4}+\beta_4+\sigma_4$	$Z_1^{(n)}=Z_1^{(n-1)}+\frac{1}{1-\beta_2-\beta_3-\ldots-\beta_n}+\beta_n+\sigma_n$

Z_2	—	$Z_2^{(3)}=\frac{1}{1-\beta_2}$	$Z_2^{(4)}=Z_2^{(3)}-\frac{1}{1-\beta_3-\beta_4}+\beta_4+\sigma_4$	$Z_2^{(n)}=Z_2^{(n-1)}+\frac{1}{1-\beta_2-\beta_3-\ldots-\beta_n}+\beta_n+\sigma_n$
Z_3	—	—	$Z_3^{(4)}=\frac{1}{1-\beta_2}$	$Z_3^{(n)}=Z_3^{(n-1)}+\frac{1}{1-\beta_2-\beta_3-\ldots-\beta_n}+\beta_n+\sigma_n$

При многократном выпаривании

$$\Delta t_{\text{пол}} = \Delta t_{\text{общ}} - \sum_1^n \Delta, \tag{1-58}$$

где $\Delta t_{\text{общ}} = t_1' - t_n''$ — разность между температурами насыщения пара, греющего первую ступень, и вторичного пара последней ступени, °С;

$\sum_1^n \Delta = \sum_1^n \Delta_1 + \sum_1^n \Delta_2 + \sum_1^n \Delta_3$ — сумма температурной, гидростатической и гидродинамической депрессий во всех ступенях выпарной установки, °С.

Полезная разность температур распределяется между отдельными ступенями многоступенчатой установки следующим образом [Л.21, 33, 34]:

при расчете на равную поверхность нагрева всех аппаратов установки

$$\Delta t_i = \frac{\Delta t_{\text{пол}} \frac{Q_i}{k_i}}{\sum_1^n \frac{Q_i}{k_i}}; \tag{1-59}$$

при расчете на минимальную суммарную поверхность нагрева корпусов выпарной установки

$$\Delta t_i = \frac{\Delta t_{\text{пол}} \sqrt{\frac{Q_i}{k_i}}}{\sum_1^n \sqrt{\frac{Q_i}{k_i}}}, \tag{1-60}$$

где Q_i — тепловая нагрузка i-й ступени;
k_i — коэффициент теплопередачи в этой ступени;
i — порядковый номер ступени.

Наиболее и широкое распространение в промышленности получили прямоточные выпарные установки.

Расход пара на выпарку 1 *кг* раствора в прямоточной выпарной установке определяется по уравнению

$$d_1 = \frac{W_n - a_{\text{сух}} Y_n + \varepsilon_1 Z_1 + \varepsilon_2 Z_2 + \ldots + \varepsilon_{n-1} Z_{n-1}}{X_n} \text{ [кг пара/кг раствора]}. \tag{1-61}$$

Расход пара в противоточной выпарной установке

$$d_1 = \frac{W_n(1+Y_n) - c_{\text{сух}}(Y_n + \beta_n) + \varepsilon_1 Z_1 +}{X_n} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+\varepsilon_2 Z_2 + \ldots + \varepsilon_{n-1} Z_{n-1}}{} \; [\textit{кг пара/кг·раствора}]. \quad (1\text{-}61а)$$

В этих уравнениях W_n — количество выпаренной воды, *кг/кг раствора*;

$c_{\text{сух}}$ — теплоемкость безводной соли, *ккал/кг·град*;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots, \varepsilon_{n-1}$ — количество отбираемого экстрапара, *кг/кг·раствора*;

X_n; Y_{n-1}; Z_1; Z_2; ... Z_{n-1} — суммарные коэффициенты, значения которых для формулы (1-61) приведены в табл. 1-4, а для формулы (1-61а) — в табл. 1-5.

В уравнении (1-61а)

$$\beta_n = \frac{t_0 - t_n}{i_n - t_n}.$$

В табл. 1-5 коэффициенты α и β имеют те же значения, что и в табл. 1-4, а β определяются по формулам

$$\beta_1 = \frac{t_2 - t_1}{i_2'' - t_1}; \quad \beta_2 = \frac{t_3 - t_2}{i_2'' - t_2};$$

$$\beta_n = \frac{t_0 - t_n}{t_n - t_n},$$

1-4. РЕКТИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Ректификационные установки служат для разделения жидких однородных смесей на составляющие вещества или группы составляющих веществ в результате противоточного тепло- и массообмена жидкой смеси и паров этой смеси. Процесс ректификации можно осуществить в том случае, когда кипящая смесь выделяет пары, содержащие те же компоненты, но в другой пропорции; обычно в парах процент содержания компонентов, кипящих при данном давлении при более низкой температуре (легкокипящие компоненты), больше, чем в жидкой смеси. Ректификация может осуществляться в ректификационных колоннах периодического и непрерывного действия. Типы и конструкции колонных аппаратов приводятся в главе третьей.

Тепловые расчеты ректификационных установок базируются на законах фазового равновесия бинарных смесей (законы Дальтона, Рауля). В практике нашли широкое применение графические методы расчета необходимого числа ректификационных тарелок. Методы расчета изложены в [Л. 3, 11, 21, 27]. В случаях, когда концентрация одного из компонентов бинарной смеси чрезвычайно мала (порядка 0,01—0,001%) или когда дистиллят преимущественно содер-

жит один из компонентов и лишь ничтожное количество второго компонента, графические расчеты становятся неприменимыми и заменяются более громоздкими, но более точными аналитическими. Методика аналитического расчета приведена в [Л. 3].

1-5. АБСОРБЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Процесс поглощения газов или паров жидкими поглотителями (абсорбентами) называется абсорбцией. Этот процесс является избирательным и обратимым, что позволяет применить его как для получения растворов газов в жидкостях, так и для разделения газовых и паровых смесей.

Абсорбция осуществляется в абсорбционных колонных аппаратах, типы и конструкции которых приводятся в главе третьей.

Расчеты абсорбционных установок основываются на законе фазового равновесия газ — жидкость (закон Генри). Методика тепловых расчетов абсорбционных аппаратов изложена в [Л. 11, 27, 29].

1-6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Гидравлический расчет теплообменных аппаратов сводится к определению потерь давления по тракту каждого из теплоносителей от входа в аппарат до выхода из него или подбору проходных сечений при заданном перепаде давлений.

Общее падение давления по тракту складывается из потерь в элементах аппаратов: входных и выходных патрубках, камерах и коллекторах, в трубных пучках и т. п.

Все сопротивления делятся на сопротивление трения ($\Delta p_{тр}$) и местные сопротивления ($\Delta p_{м.с}$). Полное гидравлическое сопротивление определяется суммой указанных сопротивлений, т. е.

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.с}. \qquad (1\text{-}62)$$

Сопротивления трения определяются по формуле

$$\Delta p_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} \; [кГ/м^2], \qquad (1\text{-}63)$$

где λ — коэффициент сопротивления трения единицы относительной длины участка (безразмерный);
l — длина канала, *м*;
w — скорость движения среды, *м/сек*;
γ — удельный вес среды, *кг/м³*;
$d = 4f/\Pi$ — эквивалентный диаметр сечения канала, *м*;
f — площадь поперечного сечения канала, *м²*;
Π — периметр сечения, *м*;
g — ускорение силы тяжести, *м/сек²*.

Сумма местных сопротивлений

$$\Delta p_{м.с} = \Sigma\zeta \frac{w^2}{2g} \gamma \; [кГ/м^2], \qquad (1\text{-}64)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления.

Все коэффициенты местных сопротивлений относятся к средней расчетной скорости движения среды.

Расчетная формула для определения гидравлического сопротивления теплообменного аппарата в целом имеет вид:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\zeta\right)\frac{w^2}{2g}\gamma \ [\kappa\Gamma/м^2]. \qquad (1\text{-}65)$$

Коэффициент сопротивления λ при постоянном значении l/d зависит от двух параметров: числа Рейнольдса и степени шероховатости стенок канала. Коэффициент местного сопротивления ζ зависит главным образом от геометрических параметров элемента канала, а также от некоторых общих факторов движения (фактор формы входа, формы и удаленности различных фасонных частей, расположенных перед рассматриваемым элементом канала, числа Re и пр.).

Методика расчета коэффициентов λ и ζ приводится в многочисленной литературе, например в [Л. 6, 20].

Мощность, затрачиваемая для перемещения рабочей среды через аппарат,

$$N = \frac{G\Delta p}{3\,600\cdot 102\cdot \gamma\eta_н} \ [квт], \qquad (1\text{-}66)$$

где G — весовой расход жидкости или газа, *кг/ч*;

γ — удельный вес ее, *кг/м³*;

$\eta_н$ — к. п. д. нагнетателя или насоса.

1-7. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ

Теплообменные аппараты, как правило, работают под давлением или под вакуумом. Отдельные элементы их, подвергающиеся нагрузкам, подлежат расчету на прочность.

Наиболее распространены теплообменные аппараты цилиндрической формы. При проектировании таких аппаратов необходимо провести расчет на прочность следующих элементов аппарата: цилиндрической обечайки корпуса, его днищ, трубных решеток, укрепляющих колец отверстий в корпусе аппарата; фланцев, опор и т. п.

Сосуды, работающие под давлением свыше 0,7 *ати*, проектируются, изготовляются и эксплуатируются в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

Расчет на прочность элементов, работающих под давлением выше 0,7 *ати*, проводится обычно в соответствии с «Нормами расчета элементов паровых котлов на прочность» [Л. 5, 10, 24, 30], выдержки из которых приводятся ниже.

Толщина стенки s **цилиндрической части сосуда**, работающего под внутренним давлением при $D_н/D_в \leqslant 1{,}2$, определяется по формуле

$$s = \frac{pD_в}{230\varphi\sigma_{доп} - p} + C \ [мм], \qquad (1\text{-}67)$$

где $\sigma_{доп}$ — допускаемое напряжение, *кГ/мм²*;

p — расчетное давление в аппарате, *кГ/см²*;

$D_н$; $D_в$ — наружный и внутренний диаметры сосуда, *мм*;

φ — коэффициент прочности сварного шва (0,85 ÷ 1,00);

C — прибавка к расчетной толщине стенки, *мм*.

Допускаемое напряжение принимается

$$\sigma_{\text{доп}} = \eta \sigma^{*}_{\text{доп}}, \tag{1-68}$$

где η — коэффициент, зависящий от конструктивных и эксплуатационных особенностей, равный 0,70 ÷ 1,00);

$\sigma^{*}_{\text{доп}}$ — номинальное допускаемое напряжение, *кГ/мм²*.

Номинальные допускаемые напряжения для наиболее часто встречающихся на практике сталей приведены в табл. 1-6.

Таблица 1-6

Номинальные допустимые напряжения $\sigma'_{\text{доп}}$ для сталей в зависимости от расчетной температуры стенки, *кГ/мм²*

а) Углеродистые стали

Расчетная температура стенки, °С	Марка стали							
	Ст. 2	10; 10К	Ст. 3	15; 15К	Ст. 4	20; 20К	25; 25К	22К
	Расчетный предел прочности стали $\sigma_{\text{в}}^{20}$ при растяжении, *кГ/мм²* (при t=20 °С)							
	35	36	39	40	43	44	48	45
20	11,7	12,0	13,0	13,3	14,3	14,7	16,0	15,0
200	10,5	10,9	11,7	12,1	12,8	13,3	14,0	14,0
260	9,3	9,6	10,3	10,6	11,1	11,6	12,7	12,9
300	8,5	8,8	9,4	9,7	—	10,5	11,5	12,2
360	—	7,5	—	8,2	—	9,0	9,8	—
400	—	6,7	—	7,3	—	8,0	8,7	—
450	—	4,6	—	5,2	—	5,6	5,9	—
500	—	2,5	—	3,0	—	3,0	3,0	—

б) Теплостойкие легированные стали

Расчетная температура стенки, °С	Марка стали						
	16М	12МХ	15ХМ	12ХМФ (12МХФ по ТУ)	12 Х1МФ (12ХМФ по ТУ)	12Х2МФБ (ЭИ-531)	1Х18Н12Т 1Х18Н9Т
	Расчетный предел прочности стали $\sigma_{\text{в}}^{20}$ при растяжении, *кГ/мм²* (при t=20° С)						
	41	42	45	45	50	42	55
20	13,3	14,0	15,0	15,0	16,5	14,0	13,0
250	12,4	12,8	13,8	13,8	14,5	13,0	12,2
300	11,9	12,6	13,3	13,3	14,0	—	12,0
350	11,7	12,3	12,6	12,6	13,3	—	11,8
400	11,0	11,6	12,0	12,0	12,6	—	11,6
460	9,8	10,8	11,3	11,3	11,8	—	10,7
500	6,6	8,4	9,0	9,7	11,3	7,3	10,0

Для стального литья номинальные допускаемые напряжения должны приниматься в 1,4 раза меньше значений, указанных в табл. 1-4.

Необходимая толщина стенки эллиптического днища (рис. 1-12) определяется по формуле

$$s = \frac{pD_в}{400z\sigma_{доп} - p}\,\frac{D_в}{2h_в} + C, \qquad (1\text{-}69)$$

где $h_в$ — высота выпуклой части днища, *мм*;
$z = 1 - d/D_в$ — коэффициент ослабления отверстием или лазом;
d — диаметр отверстия, *мм* (рис. 1-12,*б*).

Для глухих днищ $z = 1$.

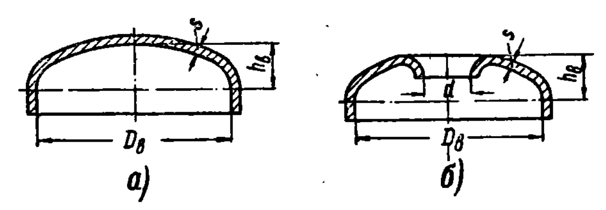


Рис. 1-12. Выпуклые эллиптические днища.
а — глухое; *б* — с лазовым отверстием.

Величина прибавки C принимается равной:

3 *мм* при расчетной толщине стенки $s - c \leqslant 10$ *мм*;
2 *мм* при $s - C = 10{,}5 \div 20$ *мм*;
1 *мм* при $s - C = 20{,}5 \div 30$ *мм*;
при $s - C > 30$ *мм* величина прибавки $C = 0$.

Высоту выпуклой части днища $h_в$ не допускается принимать меньшей, чем $0{,}2D_в$.

В случаях, когда $h > 0{,}3D_в$, толщина стенки днища определяется по условиям прочности цилиндрического борта днища [формула (1-67)].

Толщина плоских приварных донышек, глухих или имеющих центральное неукрепленное отверстие $d_1 < 0{,}6D_в$ (рис. 1-13,*а*, *б* и рис. 1-14), определяется по формулам:

а) в случае, если выполняются два условия

$$\frac{p}{100\sigma_{доп}} \geqslant 11{,}2\,\frac{s^2}{D_в^2} \qquad (1\text{-}70)$$

и

$$\frac{p}{100\sigma_{доп}} \leqslant 2{,}9\,\frac{s}{s + D_в}, \qquad (1\text{-}71)$$

$$s_1 = \frac{0{,}93s}{1 - 0{,}43\frac{d}{D_в}}\sqrt{\frac{0{,}19p}{100\sigma_{доп}}\,\frac{D_в^2}{s^2} - 1}\,; \qquad (1\text{-}72)$$

б) в случае, если условие (1-70) не выполняется, то

$$s_1 = \frac{s}{1 - 0{,}43\frac{d}{D_в}}, \tag{1-73}$$

в) в случае, если не выполняется условие (1-71), необходимо увеличить толщину цилиндрической части s до удовлетворения требованию (1-71), а затем определить толщину донышка s_1 соответственно по формуле (1-72), если условие (1-70) соблюдается, или по формуле (1-73), если указанное условие не выполняется.

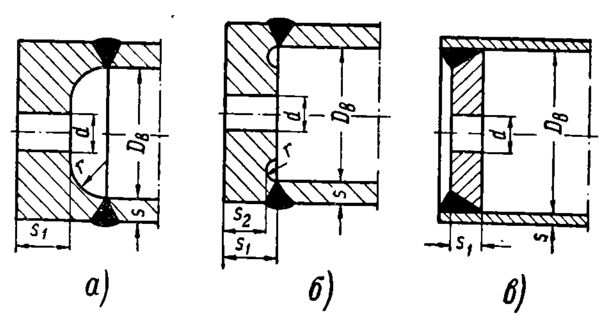


Рис. 1-13. Плоские приварные донышки.

Во всех случаях толщина цилиндрической части донышка должна удовлетворять требованию:

$$s \geqslant \frac{pD_в}{230\sigma_{доп} - p}. \tag{1-74}$$

Толщина плоских приварных донышек, глухих или имеющих центральное отверстие, выполненных по рис. (1-13,*в*), определяется по формуле

$$s_1 = \frac{s_1'}{\varphi_{св}}, \tag{1-75}$$

где s_1' — толщина донышка, определенная по формулам (1-72) или (1-73);

$\varphi_{св}$ — 0,7 ÷ 0,8 — коэффициент прочности сварного шва.

Для сосудов, работающих под давлением более 35 *кГ/см²*, приварка донышка по рис. 1-13,*в* не рекомендуется.

При определении величины допускаемого напряжения при расчете плоских донышек поправочный коэффициент $\eta = 0{,}80$.

В месте соединения донышка с цилиндрической частью необходимо осуществлять закругление перехода (рис. 1-13,*а*) или кольцевую выточку (рис. 1-13,*б*) в донышке.

Радиус закругления должен удовлетворять условиям:

$$r \geqslant \frac{1}{3} s \quad \text{и} \quad r \geqslant 5 \ \textit{мм}.$$

Толщина донышка s_2 под кольцевой выточкой должна быть не менее

$$s_2 \geqslant \frac{2}{3} s_1 \quad \text{и} \quad s_2 \geqslant s.$$

Толщина плоской стенки, не имеющей отверстий и штуцеров и укрепленной распорными болтами или связями, определяется по формуле

$$s = c\sqrt{p(a^2 + b^2)} \ [\textit{мм}], \tag{1-76}$$

где $c = 0{,}011 - 0{,}017$;

a — расстояние между центрами распорных болтов или связей в одном ряду, *мм*;

b — расстояние между рядами распорных болтов или связей, *мм*;

p — расчетное давление, $\textit{кГ/см}^2$.

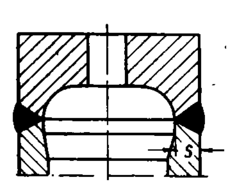


Рис. 1-14. Плоское донышко, приваренное к камере с обточенной внутренней поверхностью.

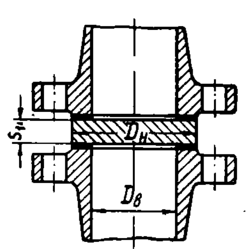


Рис. 1-15. Заглушка, зажатая между двумя фланцами.

Части трубной доски, расположенные вне пучка труб, если они требуют укрепления, должны быть укреплены анкерными связями.

Необходимая толщина плоской заглушки, зажатой между двумя фланцами (рис. 1-15), определяется по формуле

$$s_1 = 0{,}4 D_н \sqrt{\frac{p}{100\sigma_{доп}}} \ [\textit{мм}]. \tag{1-77}$$

Рабочее давление не должно превышать

$$p = 625 \frac{s_1^2}{D_н^2} \sigma_{доп} \ [\textit{кГ/см}^2], \tag{1-78}$$

а пробное давление при гидравлических испытаниях

$$p_{проб} \leqslant 260 \frac{s_1^2}{D_н^2} \sigma_в^{20}, \tag{1-79}$$

где $\sigma_в^{20}$ — предел прочности материала при испытании на растяжение при 20° С.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2-1. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Приведены основные характеристики пароводяных и водоводяных теплообменных аппаратов, предназначенных для подогрева воды, используемой для целей теплофикации и для производственных нужд. В зависимости от назначения это вертикальные или горизонтальные кожухотрубчатые аппараты. Их размеры и основные характеристики определяются условиями работы.

На рис. 2-1 приведены некоторые конструкции аппаратов, предназначенных для подогрева воды для производственных и отопительных нужд. Краткая техническая характеристика аппаратов дана в табл. 2-1.

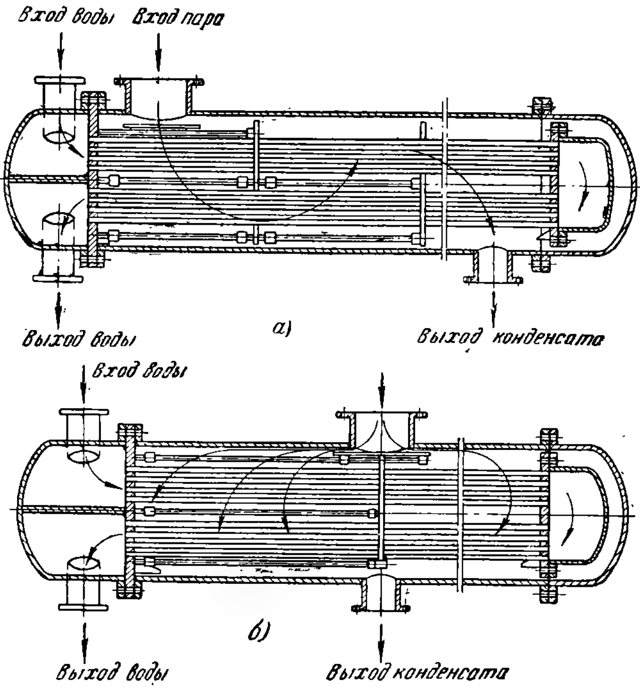


Рис. 2-1. Горизонтальные теплофикационные подогреватели конструкции ОРГРЭС.

Таблица 2-1

Водоподогреватели сетевой воды

Завод-изготовитель	Тип подогревателя	Наименование подогревателя	Расход воды, $м^3/ч$	Вес без воды, *кг*	Типы турбин, у которых устанавливаются подогреватели
ЛМЗ	БП-35	Пиковый	—	1 330	—
ЛМЗ	БО-200	Основной	Макс. 335	6 768	АТ-25-1; АТ-25-2
Саратовский завод тяжелого машиностроения	БП-200	Пиковый	Макс. 1 000	7 084	АТ-25-1; АТ-25-2
	БПр-350	Предвключенный	800/1 100	10 400	—
	БО-350	Основной	800/1 100	10 200	—
	БП-300	Пиковый	Макс. 1 800	9 338	—
	БПр-550	Предвключенный	1 350/1 800	15 380	—
	БО-550	Основной	10/1 800	14 704	—
	БП-500	Пиковый	350/1 800	12 900	—
Кировский	ПБ-215	Основной	—	5 210	АПТ-12-1; АТ-12-1 АТ-12-2
	ПБ-215-11	Пиковый	—	5 250	АПТ-12-1; АТ-12-1; АТ-12-2
	ПБ-37	Пиковый	—	1 040	—
	П-43	Основной	220	1 680	АП-12-1
НЗЛ	БП-15	Основной	—	4 170	АП-6-1; АП-6-2; АП-4-1; АП-2,5—1
НЗЛ	БП-43	Пиковый	220	1 790	—

Примечания. 1. В обозначении типа подогревателя цифры означают поверхность нагрева, $м^2$. Например: БО-200—подогреватель основной с поверхностью нагрева 200 $м^2$.

2. Все подогреватели сварные с прямыми трубками, завальцованными в трубные доски. Трубки латунные с диаметром 19/17,5 *мм*.

Размеры пароводонагревателей конструкции

Условное обозначение нагревателя	Диаметр корпуса D, *мм*	Число труб		Сечение для прохода воды, *см*²	Размеры, *мм*		
		общее	в одном ходе		l_1	l_2	a
350	375/364	44	11	22,1	250	240	120
400	427/409	64	16	32,1	330	250	150
500	529/513	120	30	60,1	415	350	180
600	631/613	220	55	110,5	500	320	200

Пароводонагреватели конструкции

Основные характеристики	Условное обозначение нагревателя									
	350					400				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
F, *м*²	3,75	4,75	5,7	6,5	7,5	7,97	9,42	10,87	12,32	13,77
L, *мм*	2 044	2 444	2 844	3 194	3 544	2 786	3 185	3 586	3 986	4 385
l, *мм*	1 500	1 900	2 300	2 550	3 000	2 200	2 600	3 000	3 400	3 800
G, *кг*	370	407	439	453	498	645	696	758	809	859

На рис. 2-2 показан горизонтальный четырехходовой пароводонагреватель с внутренними крышками на болтах конструкции Теплоэлектропроекта. Корпуса этих нагревателей выполняются из бесшовных труб. Нагревательные трубки диаметром 18/16 *мм* изготовлены из латуни. Максимальное допускаемое давление для пара — 8 *ата*, для воды — 10 *ата*. Основные размеры и характеристики пароводонагревателей конструкции Теплоэлектропроекта приводятся в табл. 2-2 и табл. 2-3.

На рис. 2-3 показан четырехходовой пароводонагреватель для теплофикационных и отопительных установок конструкции Промстройпроекта. Поверхность нагрева теплообменного аппарата изготовляют из латунных трубок диаметром 16/14 *мм*. Максимальное рабочее давление в паровой части 8 *ата*, в водяной — 6 *ата*. Основные размеры и характеристики этих пароводонагревателей приведены в табл. 2-4 и 2-5.

В качестве абонентских подогревателей систем теплоснабжения широко применяются секционные водоводяные подогреватели конструкции Теплосети Мосэнерго и Теплоэлектропроекта, изображенные на рис. 2-4. Для изготовления корпусов этих подогревателей применяют бесшовные стальные трубы, поверхность нагрева изго-

Таблица 2-2

Теплоэлектропроекта (рис. 2-2)

Размеры, *мм*					Диаметр патрубков, *мм*		
b	*f*	*k*	*m*	*n*	d_1	d_2	d_3
200	200	350	152	66	108/100,5	44,5/39,5	76/70
200	200	500	127	76	133/125	78/70	108/100,5
250	225	500	150	76	159/150	108/100,5	108/100,5
350	250	500	185	78	267/252	132/125	159/150

Таблица 2-3

Теплоэлектропроекта

Условное обозначение нагревателя									
500					600				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
14,95	17,7	20,4	29,1	25,8	27,4	32,8	37,3	42,3	47,3
2 966	3 355	3 765	4 165	4 565	3 022	3 422	3 822	4 222	4 522
2 200	2 500	3 000	3 400	3 800	2 202	2 600	3 000	3 400	3 800
904	969	1 055	1 121	1 187	1 332	1 428	1 552	1 650	1 748

товляют из латунных трубок. Соединение секций при диаметре корпусов 100 *мм* и менее производят на гнутых калачах; при больших диаметрах — на калачах, сваренных из звеньев. Рабочее давление теплоносителя в трубках — до 10 *ата*, в корпусе — до 6 *ата*. При изготовлении корпуса из бесшовных стальных труб отношение поверхности нагрева к объему составляет 80 $м^2/м^3$ и отношение веса к поверхности — около 50 $кг/м^2$. Основные размеры водоводяных подогревателей конструкции Теплосети Мосэнерго и Теплоэлектропроекта приведены в табл. 2-6.

В промышленности и в системах горячего водоснабжения широкое применение нашли водонагреватели-аккумуляторы, являющиеся аппаратами периодического действия рис. 2-5. Вода в этих подогревателях нагревается в течение 4—5 *ч*, а расходуется из аккумулятора за 30—50 *мин*. Водонагреватели этой конструкции изготовляют со сферическими или плоскими крышками. Их емкость 0,5—10 $м^3$. Змеевики аккумулятора выполняют из газовых труб диаметром $1^1/_2''$. Рабочее давление в аккумуляторе: для пара — до 3—4 $кГ/см^2$, для воды — до 5—6 $кГ/см^2$. Краткая характеристика водонагревателей-аккумуляторов конструкции Промстройпроекта приведена в табл. 2-7.

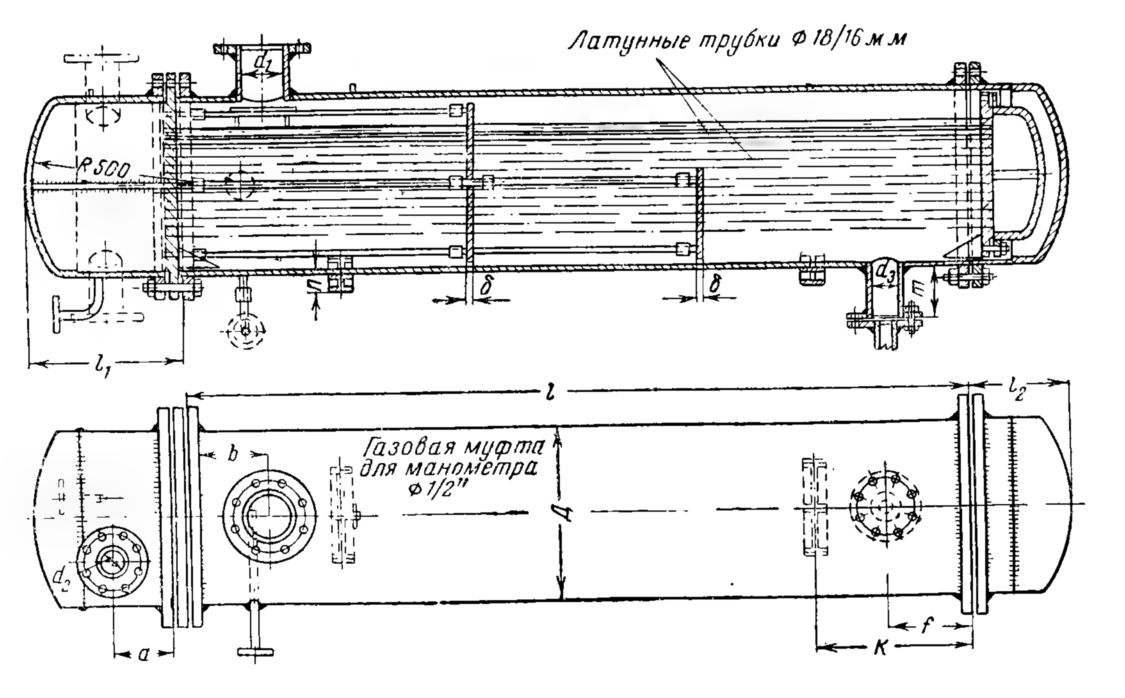


Рис. 2-2. Горизонтальный пароводонагреватель конструкции Теплоэлектропроекта.

Таблица 2-4

Размеры пароводонагревателей конструкции Промстройпроекта (рис. 2-3)

Номер нагревателя	L, мм	l, мм	Номинальная поверхность F, м²	Вес G, кг	Номер корпуса
1	1 330	900	1,47	193	1
2	1 630	1 200	1,93	212	1
3	2 030	1 600	2,56	235	1
4	2 430	2 000	3,18	259	1
5	2 830	2 400	3,80	284	1
6	1 655	1 200	3,38	286	2
7	2 055	1 600	4,47	319	2
8	2 455	2 000	5,66	353	2
9	2 855	2 400	6,66	388	2
10	1 500	900	7,87	651	3
11	1 860	1 200	10,4	711	3
12	2 260	1 600	13,75	791	3
13	2 660	2 000	17,1	872	3
14	3 060	2 400	20,4	953	3

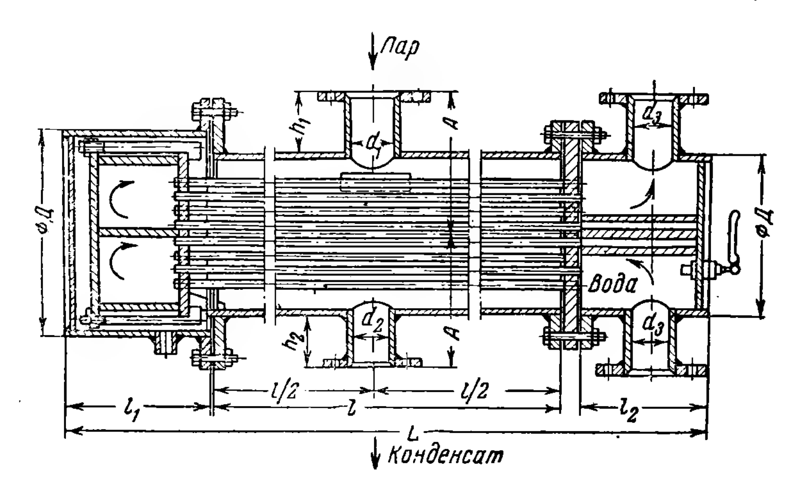


Рис. 2-3. Четырехходовой пароводонагреватель конструкции Промстройпроекта.

Таблица 2-5

Пароводонагреватели конструкции Промстройпроекта

Номер корпуса	Характеристика корпуса											
	D, мм	D_1, мм	l_1, мм	l_2, мм	d_1-d_2, мм	d_3, мм	h_1, мм	h_2, мм	A, мм	ω*, см²	n**, шт	n_1***, шт
1	216/203	299/203	200	200	76	60	100	75	210	12,3	32	8
2	267/253	351/335	200	220	89	76	102	85	232	21,5	56	14
3	426/408	540/520	300	320	89	89	150	100	363	66	172	42

*—сечение латунных трубок для прохода жидкости;

**—общее количество трубок;

***—количество трубок в одном ходе.

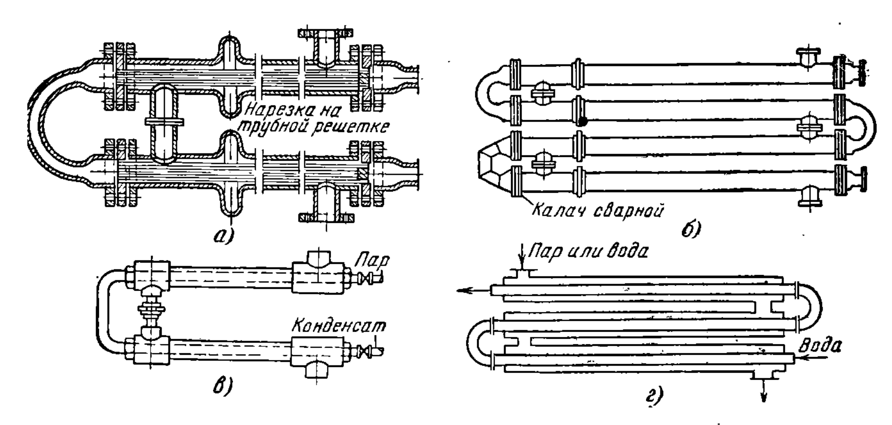


Рис. 2-4. Секционный водоводяной подогреватель конструкции Теплосети Мосэнерго и Теплоэлектропроекта.

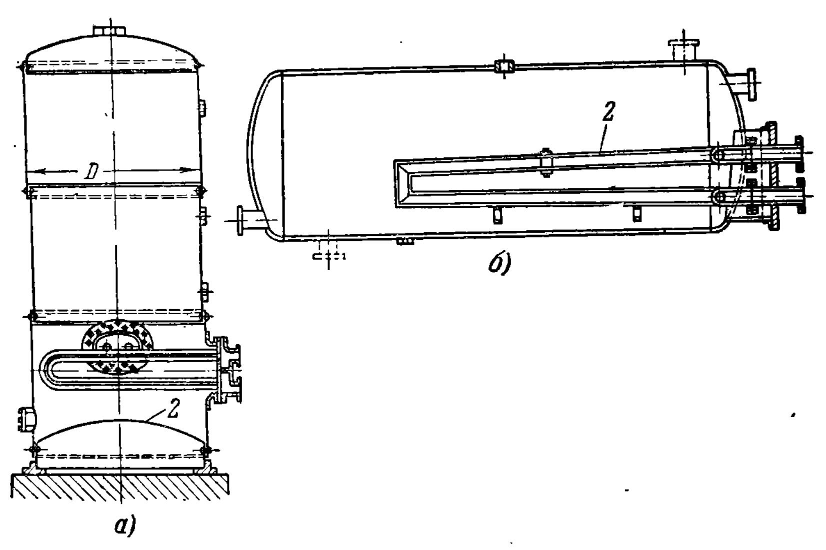


Рис. 2-5. Водонагреватели — аккумуляторы.
а — вертикальный; *б* — горизонтальный.

Таблица 26

Водоводяные подогреватели типа Теплосети Мосэнерго (рис. 2-4)

Технические характеристики	Номера подогревателей или марка									
	3	4	6	8	10	12	ВВП-50	ВВП-80	ВВП-100	ВВП-150
Внутренний диаметр корпуса, *мм*	83	100	150	203	252	309	—	—	—	—
Число трубок в секции	7	12	31	35	88	140	4	12	19	37
Поверхность нагрева одной секции нормальной длины, *м*²	1,32	2,26	5,84	10,35	16,6	26,4	0,75	2,26	3,58	6,95
Площадь живого сечения межтрубного пространства одной секции, *м*²	0,00393	0,00554	0,01146	0,02135	0,0322	0,0468	—	—	—	—
Площадь живого сечения трубок одной секции, *м*²	0,00108	0,00185	0,00478	0,00847	0,0135	0,0216	—	—	—	—
Отношение площади сечения межтрубного пространства к площади трубок	3,66	3,00	2,4	2,52	2,38	2,16	—	—	—	—
Эквивалентный диаметр межтрубного пространства, *мм*	25,6	24,2	22,6	25,1	24,7	23,4	—	—	—	—
Строительная длина, *мм*	4 440	4 500	4 670	4 800	4 900	5 000	4 330	4 410	4 590	4 650
Расстояние между осями секции, *мм*	250	300	400	500	550	600	—	—	—	—
Расстояние патрубка от фланца корпуса, *мм*	150	170	180	200	225	250	—	—	—	—
Длина входного патрубка, *мм*	210	210	210	210	270	270	—	—	—	—
Диаметр входных патрубков отопительных подогревателей и диаметр калачей отопительных подогревателей горячего водоснабжения, *мм*	70	83	125	150	203	252	—	—	—	—
Общий вес одной секции (с калачом и впускным патрубком), *кг*	79,0	107,5	197,6	344,0	516,0	718,6	—	—	—	—

Примечания: 1. Поверхность нагрева изготовляют из латунных трубок диаметром 16/14 *мм*.
2. Нормальная длина трубок в секции 4 000 *мм*.

Таблица 2-7

Водонагреватели-аккумуляторы конструкции Промстройпроекта (рис. 2-5)

Технические характеристики	Номера пароводонагревателей						
	1	2	3	4	5	6	7
Геометрическая емкость, *л*	450	680	920	1 320	1 800	2 860	4 620
Полезная емкость, *л*	340	520	680	1 000	1 350	2 140	3 450
Диаметр, *мм*	620	620	730	900	1 000	1 140	1 400
Длина, *мм*	1 500	2 125	2 200	2 000	2 300	2 800	3 000
Толщина корпуса, *мм*	5	5	5	5	5	5	6
Толщина днища, *мм*	7	7	7	8	8	8	10

2-2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ СИСТЕМ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Приводятся характеристики подогревателей высокого, среднего и низкого давления систем регенеративного подогрева, сальниковых подогревателей, охладителей конденсата и дренажа и деаэраторов, серийно выпускаемых отечественными заводами.

В табл. 2-8 собраны технические данные подогревателей высокого давления Таганрогского котельного завода.

На рис. 2-6 представлена конструкция одного из этих подогревателей ПВ 200/180 № 1. Технические характеристики подогревателей высокого давления, выпускаемых Ленинградским металлическим и Харьковским турбогенераторным заводами, приведены в табл. 2-9.

Сведения о подогревателях среднего давления даны в табл. 2-10.

Конструкции двух подогревателей низкого давления, выпускаемых ЛМЗ, приведены на рис. 2-7. Подогреватели низкого давления выпускаются также заводами: Кировским, НЛЗ, Уральским турбомоторным и Саратовским заводом тяжелого машиностроения. Технические характеристики этих подогревателей даны в табл. 2-11 и 2-12.

В табл. 2-13 и 2-14 приведены данные по подогревателям, использующим пар из уплотнений турбин, а также по охладителям конденсата и дренажа. Охладители конденсата и дренажа применяют в тепловых схемах электростанций и в тепловых сетях. Они служат для устранения возможности вскипания воды на участках с низким давлением. Указанные охладители выпускаются Саратовским заводом тяжелого машиностроения.

На рис. 2-8 представлена конструкция одной из деаэрационных колонок, являющихся основной частью деаэраторов. Деаэрационная установка в собранном виде состоит из деаэрационной колонки, деаэраторного бака — аккумулятора, охладителя выпара, арматуры и трубопроводов.

Подогреватели высокого давления Таганрогского

Тип подогревателя	Тип турбины	Производительность по воде, *т/ч*	Максимальные параметры: по воде — Давление, *ата*	по пару — Давление, *ата*	на входе — Температура, °С
ПВ 120/180 № 1 ПВ 120/180 № 2	ВК 25-2	106 106	180 180	18,3 31,5	350 415
ПВ 150/180 № 1 ПВ 150/180 № 2	ВК 50-3	187 187	180 180	18 34	350 415
ПВ 200/180 № 1	ВТ 25-4; ВР-6	200	180	18 29,6	358 435
ПВ 200/180 № 2	ВК 50-3	200	180	34	415
ПВ 350/230 № 1	ВПТ 50-2, -3 ВР 25-1, -2 ВРТ 25-1-2	375	230	21 36	355 375
ПВ 350/230 № 2	ВКТ 100	375	230	34	420
ПВ 350/230 № 3	ВПТ 50-2-3	375	230	56	450
ПВ 425/230 № 1 ПВ 425/230 № 2 ПВ 425/230 № 3	ПВК-150	504 504 504	230 230 230	13,2 23 35	452 527 389
ПВ 480/230 № 1 ПВ 480/230 № 2 ПВ 480/230 № 3	ПВК 200	582 582 582	230 230 230	12 26 38	480 345 395
ПВ 470/85 № 1	СВК-150-1 АК 70	500 440	85	8,3	357
ПВ 470/85 № 2		500	85	16,3	445
ПВ 470/85 № 3	СВК 150-1	440	85	34,7	353
ПВ 250/180 № 1 ПВ 250/180 № 2 ПВ 250/180 № 3	ВК 100-6	363 363 363	180 180 180	12 21 33	290 350 410

Примечания. 1. В сопротивление блока включено: сопротивление трех по-подогреватели.

2. Температура питательной воды при расчете прочности трубной системы

3. Диаметр трубок спирали 32×3,5 *мм*.

Таблица 2-8

котельного завода (рис. 2-6)

Гидравлическое сопротивление, *м вод. ст.*	Количество ходов по воде	Количество спиралей в подогревателе, шт.	Длина спирали, *м*	Внутренний диаметр корпуса, *мм*	Вес подогревателя, полностью заполненного водой, *т*
19,5	3	92	13,2		18,0
19,5	3	92			20,0
20	1	56	26,4		17,4
20	1	56			21,2
23,5	3	148			19,7
23,5	3	148	13,2	1 500	24,1
35,5	3	248			32,5
35,5	3	248			34,9
35,5	3	248			38,7
Блок[1] 100,3	2	248			41,7
	2	248			44,0
	2	248			44,8
Блок[1] 137,5	2	280	17,4		45
	2	280			46,1
	2	280		1 700	49,3
21,7	1	140			
27,1	1	140	34,8		
21,7	1	140			
27,1	—	—	—	—	—
27,1	—	—	—	—	—
21,7	—	—	—	—	—

ıгревателей, впускного и обратного клапана и перепускных труб, соединяющих

ıла принята 260° С.

Таблица 2-9

Подогреватели высокого давления

Завод-изготовитель	Тип подогревателя	Конструктивные особенности	Максимальное рабочее давление, *ата*		Расход воды на один подогреватель, $м^3/ч$	Вес подогревателя без воды, *т*	Диаметр трубок, *мм*	Типы турбин, для которых устанавливается подогреватель
			воды	пара				
ЛМЗ	БИП-350 № 2 БИП-350 № 3	Вертикальный цельносварной корпус, трубки изогнуты в вертикальной плоскости и приварены к коллекторам	180 180	3 6	410 410	19,5 20,4	25/19	ВК-100-2 ВК-100-2
	БИП-350 № 4 БИП-350 № 5	В состав комплектного подогревателя входят собственно подогреватель, охладитель дренажей и клапаны автоматической защиты	180 180	15 29	410 410	25,0 31,3		ВК-100-2 ВК-100-2
ХТГЗ	ВПП-240-6 ВПП-200-32	Вертикальный цельносварной со спиралеобразными горизонтальными змеевиками, имеет клапаны автоматической защиты	200 200	5 28,5	205 205	45,3 блок	25/19	ВР-25

ЛМЗ	БИП 200 № 2 БИП-200 № 3 БИП-200 № 4 БИП-200 № 5	Конструкция та же, что ВПП-240-6 и ВПП-200-32, но в состав ее входит еще пристроенный к корпусу конденсатоотводчик с встроенным в нем импульсным механизмом	180 180 180 180	3 7 15 28	210 210 210 210	15,2 15,5 18,8 24,5	25/19	ВК-50-1, ВК-50-1, ВПТ-25-3, ВК-50-1, ВПТ-25-3, ВК-50-1, ВПТ-25-3
ЛМЗ	ПВСС-350 № 4 ПВСС-350 № 4	Вертикальный цельносварной со спиралеобразными горизонтальными змеевиками, с клапанами автоматической защиты	180 180	15 15	410 410	20,4 25,4	32/24	ВК-100-2 ВР-25-1 ВК-100-2 ВР-25-1
ЛМЗ	ПВСС-200 № 4 ПВСС-200 № 5	То же	180 180	15 29	210 210	14,5 18,8	32/24	ВК-50-1, ВПТ-25-3 ВТ-25-4, ВК-50-1 ВПТ-25-3 ВТ-25-4
ЛМЗ	ПВСС-120 № 4 ПВС-120 № 5	То же	180 180	18 33	106 106	11,4 14,7	25/19	ВК-25-1 ВК-25-1

Примечания. 1. Первые три цифры в обозначении типа подогревателя обозначают поверхность нагрева, $м^2$.
2. Материал трубок всех подогревателей — сталь 10.

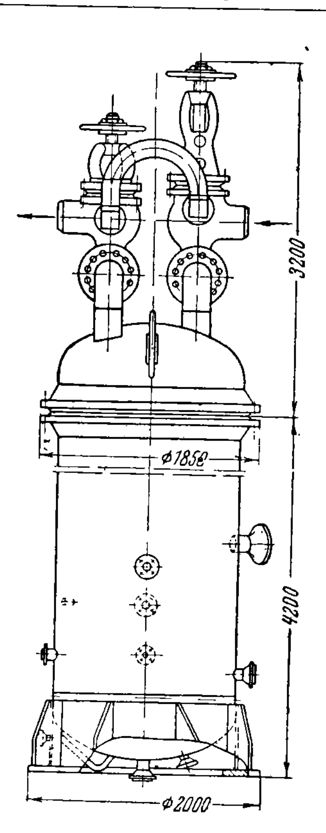


Рис. 2-6. Подогреватель высокого давления ПВ-200/180 № 1.

Деаэрационные колонки смешивающего типа ДС-1, ДС-2, ДС-3 повышенного давления имеют рабочее давление 6 *ата*. Деаэрационные колонки типов ДС-25, ДС-75, ДС-100, ДС-150, ДС-200, ДС-300 атмосферного типа имеют рабочее давление 1,05—1,1 *ата*. Цифры, следующие за буквенным обозначением деаэраторов повышенного давления, указывают типы колонок 1, 2 и 3, которые отличаются количеством и размерами штуцеров для ввода воды, производительностью и тепловым балансом. Тепловые балансы определяют расчетные режимы деаэраторов, к которым должны максимально приближаться рабочие режимы. По тепловым балансам должны выбираться типы устанавливаемых деаэрационных колонок. Цифры, следующие за буквенным обозначением деаэрационной колонки

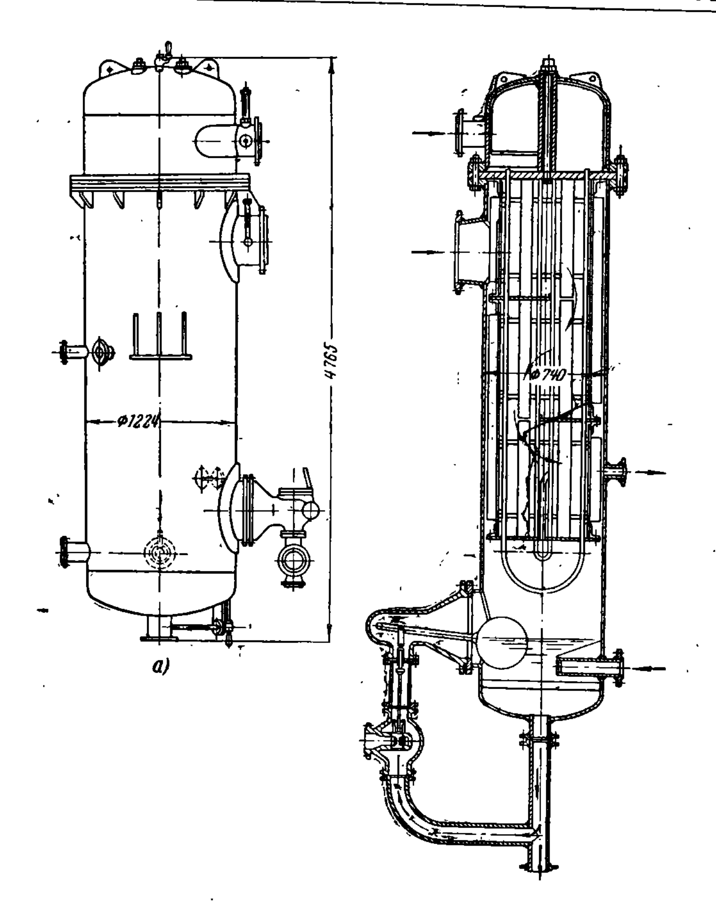


Рис. 2-7. Подогреватели низкого давления.
а — типа ПН-200-1; *б* — регенеративный.

атмосферного типа, означают производительность колонки, *т/ч*. Для деаэрационных колонок повышенного давления ставят охладители выпара с поверхностью 28 *м*². Для деаэрационных колонок атмосферного типа ставятся охладители выпара с поверхностью 2, 8, 16 и 24 *м*². Указанные деаэраторы изготовляют на Барнаульском котельном заводе Алтайского совнархоза и Черновицком машиностроительном заводе Станиславского совнархоза.

Таблица 2-10

Вертикальные подогреватели среднего давления (корпус сварной со стальной литой водяной камерой с U-образными трубками)

Завод-изготовитель	Тип подогревателя	Поверхность нагрева, $м^2$	Максимальное рабочее давление, *ата*		Число ходов воды	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес подогревателя без воды, *т*	Типы турбин, для которых устанавливается подогреватель
			воды	пара					
ХТЗ	П-99	99	40	6	—	Сталь 10	16/12	4,34	АК-50-1
	П-160	160	40	6	—			5,35	АК-100-1
									АК-50-1
ЛМЗ	F-38	93	40	6	—	Л-68	16/13	4,6	АК-50-1
									ТН-250
ЛМЗ	П-99	99	40	6	—	Сталь 10	16/12	3,96	АК-50-2
ЛМЗ	F-39	104	40	6	—	Л-68	16/13	4,5	{ АТ-25-1 АК-25-2
	ПВ-145	145	—	—	—			4,7	{ АП-25-1 АК-50-2
	ПВ-160-1	160	50	6	—			4,9	АТ-25-2

	ПВ-300	300	40	6	—			12	АК-100-1
ЛМЗ	ПВ-150-2 ПВ-150-3	150 150	50 50	3,5 13	4 4	Л-68	16/13	5,1 6,0	АП-25-2 АП-25-2
Кировский	ПВ-60	60	60	—	2	Сталь 10	16/12	2,4	АПТ-12-1 АП-12-1 АТ-12-1 АТ-12-2
НЗЛ	ПВ-60-3	60	60	10	2	Сталь 10	16/12	2,8	АП-6-1 АП-6-2 ДК-20-120 АКв-9 АКв-6 АКв-4
Кировский	ВД	19,6	50	10	2	Сталь 10	16/12	2,1	АК-12-1
НЗЛ	ПВ-20	20	50	6	2	Сталь 10	16/12	1,2	АП-4-1 АП-2, 5-1

Таблица 2-11

Подогреватели низкого давления (рис. 2-7)

Завод-изготовитель	Тип подогревателя	Поверхность нагрева, $м^2$	Максимальное рабочее давление, *ата*: воды	Максимальное рабочее давление, *ата*: пара	Расход воды на один подогреватель, $м^3/ч$	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес подогревателя без воды, *т*	Типы турбин, для которых устанавливается подогреватель
ЛМЗ	ПН-250-1	250	5	1	280	Л-68	16/14,5	5,0	ВК-100-2
	ПН-250-2	250	16	0,05	280			6,46	—
	ПН-250-3	250	16	3	280			6,18	—
ЛМЗ	ПН-200-1	200	15	7	—	—		5,9	ВК-100
	ПН-200-2	200	15	7	—			5,7	ВК-100
ХТГЗ	П-88	88	—	—	—			2,5	АК-50-1
	П-108	108	—	—	—			3,1	АК-50-1
	П-210	210	—	—	—			3,75	АК-100-1
ЛМЗ	F-26	52	—	—	—	Л-68	19/17	1,7	АП-25-1 АТ-25-1 МК-6-1 МК-6-2
	F-34	82	—	—	—			3,3	АК-50-1
ЛМЗ	ПН-75	75	—	—	—			1,78	АП-25-1 АК-25-2
ЛМЗ	ПН-125	125	—	—	—	Л-68	16/14,5	2,7	АК-50-2
ЛМЗ	ПН-130-1	130	15	0,05	145			4,2	ВК-50-1
ЛМЗ	ПН-130-2	130	15	7	—	Л-68	16/14,5	4,06	ВК-50-1 ВТ-25-4 ВПТ-25-3
	ПН-130-3	130	15	7	—			3,73	ВК-50-1 ВТ-25-4

ЛМЗ	ПН-108	100	5	1	200	Л-68	19/17	2,25	АК-50-2
ЛМЗ	ПН-100-1	100	5	1,3	110	Л-68	16/14,5	2,6	АП-25-2
Уральский турбомоторный завод	ПН-80	80	5	1	—	Л-68	16/14,5	1,77	АТ-25-2
ЛМЗ	ПН-65-1	65	12	1	—	Л-68	—	2,3	ВПТ-25-3 ВТ-25-4 ВК-25-1
	ПН-65-2	65	12	4				2,3	ВПТ-25-3 ВТ-25-4 ВК-25-1
НЛЗ	ПН-30В-1	30	3,5	0,5	—	Л-68	19/17	0,85	АКв-12 АКв-9 АКв-6 АКв-4 ДК-20-120
Кировский	НД № 1	25	—	—	—	Л-68	19/17	1,36	АК-12-1
	НД № 2	25	—	—	—			1,34	АК-12-1
Кировский	ПН-23	23	—	—	—	Сталь 10		0,96	АПТ-12-1 АП-12-1 АТ-12-1 АТ-12-2
НЗЛ	ЛН-9	9	—	—	—			0,38	АП-4-1 АП-2,5-1
	ПН-13	13	—	—	—			0,5	АП-6-1 АП-6-2

Примечания: 1. Все теплообменники, кроме ПН-75, НД № 1, НД № 2, изготавливают вертикальными со сварными корпусами и чугунными водяными камерами. Трубки U-образные.
2. В теплообменнике ПН-75 камеры сварные.
3. В теплообменниках НД № 1 и НД № 2 верхняя камера и крышка сварные, а нижняя крышка литая.

Таблица 2-12

Подогреватели питательной и химочищенной воды низкого давления Саратовского завода тяжелого машиностроения (рис. 2-7)

Тип подогревателя	Наибольший расход обогреваемой воды, *т/ч*	Рабочее давление в водяном пространстве, *кГ/см²*	Расчетное давление насыщенного пара, *кГ/см²*	Вес подогревателя без воды, *кг*	Вес подогревателя, полностью заполненного водой, *кг*	Количество труб, шт.	Материал труб	Диаметр, *мм*
ПВ-65М	—	—	0,05	1 911	3 300	257	Латунь Л-68	16/14,5
ПН-65-1	73,0	12,0	0,05	2 078	3 578	259		
ПН-66-2	91,0	12,0	4,0	2 042	3 500	259		
ПН-65-3	85,0	12,0	0,05	2 078	3 580	259		
ПН-65-4	95,0	12,0	5,4	2 042	3 555	259		
ПН-80-1	110	7,0	0,05	1 730	3 120	246		
ПН-100-1	104	5,5	0,07	2 167	3 967	348		
ПН-100-2	314,0	15,0	0,5	2 938	5 500	520		
П-108	208	5,0	0,64	2 250	4 350	340		
ПН-130М	145,0	—	0,5	2 721	5 320	451		
ПН-130-1	135	15,0	0,5	3 789	6 990	530		
ПН-130-2	169	—	7,0	3 701	6 900	530		
ПН-130-3	169	—	1,1	3 320	6 500	530		
ПН-130-4	135	15,0	0,5	3 798	7 000	530		
ПН-130-5	170	15,0	7,0	3 701	6 900	530		
ПН-160	382,7	15,0	1,0	4 079	8 074	459		
ПН-200-1	329	15,0	7,0	5 266	11 144	903		
ПН-200-2	329	15,0	7,0	4 968	9 110	903		
ПН-250-1	270	5,5	0,5	5 000	9 600	899		
ПН-250-2	262	15,0	0,05	6 390	12 840	903		
ПН-250-3	374,6	15,0	4,0	5 980	11 409	850		
ПН-60	—	20,0	—	4 235	7 402	354	Сталь 10	22/18
ПН-150	254,9	—	2,0	6 223	11 754	780		
ПНГ-25	—	13,0	—	1 834	2 675	164		
ПНГ-75	—	4,0	—	3 004	5 000	352		
ПНГ-100	—	20,0	—	5 524	9 809	354		

Таблица 2-13

Подогреватели для использования пара из уплотнений турбин

Завод-изготовитель	Тип подогревателя	Особенности конструкции	Поверхность нагрева, $м^2$	Материал труб	Диаметр труб, *мм*	Вес подогревателя без воды, *т*	Типы турбин, для которых устанавливается подогреватель[1]
ЛМЗ	ПЛ-15 ПЛ-25	Сварной	15 25	Л-68	19/17	0,6 1,2	АК-100-1 АК-50-1 АК-50-2 АП-25-1 АТ-25-1 АТ-25-2 АК-25-2 АК-25-1 ВР-25-1
Кировский	ПС	Сварной	4,5	Внутренние стальные, наружные латунные	—	0,4	АП-12-1 АТ-12-1 АТ-12-2 АК-12-1
Кировский	ПС-5 (пароохладитель)	Сварной	5	Л-68	19/17	0,206	АП-6-1 АП-6-2
НЗЛ	ПС-4 ПС-5	Сварной, горизонтальное исполнение	4 5	Л-68	19/17	0,177 0,215	АП-4-1 АП-2, 5-1 АП-6-1
НЗЛ	ПС-5-6	Вертикальный сварной с U-образными латунными трубками, завальцованными в трубной доске	5	Л-68	19/17	0,31	АКв-12

[1] На одну турбину устанавливается один подогреватель.

Таблица 2-14

Охладители конденсата и дренажа

Тип	Назначение	Особенности конструкции	Поверхность нагрева, $м^2$	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес подогревателя без воды, *т*	Типы турбин, для которых устанавливается охладитель
ПО-3,15	Охлаждение пара	Корпус вертикальный стальной сварной, трубки прямые	3,15	Л-68	16/14	0,28	АР-1-2 АР-1-3 ОП-1, 5-2
ПО-5,5	Охлаждение пара	Корпус вертикальный стальной сварной с U-образными трубками	5,5	Сталь 10	16/13	0,3	АР-6-11 АР-6-6
ОГ-6	Охлаждение конденсата химически очищенной водой	Горизонтальный стальной сварной с прямыми трубками	6	Сталь 10	22/18	0,427	—
ОГ-12-1	Охлаждение продувки	Горизонтальный сварной двухкорпусный	12	Сталь 10	22/20	0,79	ВК-100-2 ВК-50-1 ВТ-25-4 ВПТ-25-3
ОГ-24	Охлаждение конденсата	Горизонтальный сварной четырехкорпусный	24	Сталь 10	22/20	1,62	ВК-50-1 ВТ-25-4
ОГ-32	Охлаждение продувочной воды химически очищенной водой	Горизонтальный стальной сварной с прямыми трубками	32	Сталь 10	22/18	1,306	—
ОГ-35	Охлаждение дренажа	Горизонтальный сварной четырехкорпусный	35	Сталь 10	22/20	2,15	ВК-100-2
ОГ-135	Охлаждение конденсата испарительной установки	Горизонтальный стальной сварной с прямыми трубками	135	Сталь 10	22/18	7,947	—

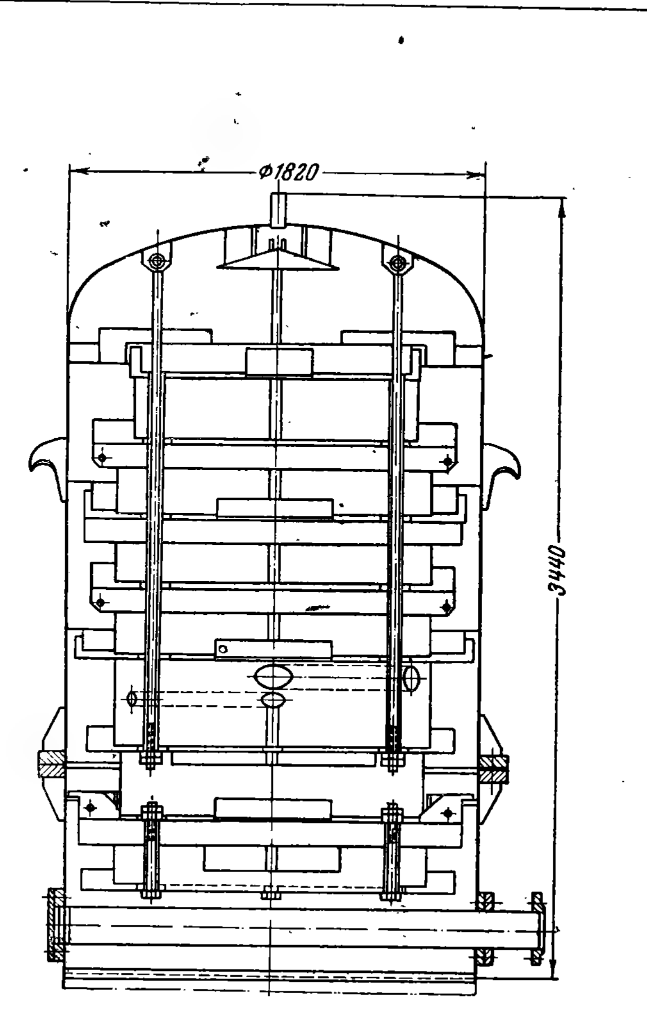


Рис. 2-8. Деаэрационная колонка типа ДС-1.

Техническая характеристика деаэрационных колонок приведена в табл. 2-15.

Таблица 2-15

Деаэрационные колонки

Тип	Общий вес колонки, *кг*	Рабочее давление, *ати*	Пробное гидравлическое давление, *ати*	Производительность, *т/ч*
ДС-1	4 564	5	7,5	160
ДС-2	4 658	5	7,5	225
ДС-3	4 658	5	7,5	225
ДС-25-4	922	0,2	2	25
ДС-75-4	1 185	0,2	2	75
ДС-100-4	1 460	0,2	2	100
ДС-150-4	1 785	0,2	2	150
ДС-200-4	1 993	0,2	2	200
ДС-300-4	2 603	0,2	2	300

Охладители выпара предназначены для охлаждения неконденсировавшегося в деаэрационных колонках пара. Охладители пара для деаэраторов повышенного давления представляют собой вертикальные аппараты, состоящие из парового корпуса, трубной системы, верхней и нижней водяных камер. Температурное расширение трубок компенсируется свободно подвешенной трубной доской (рис. 2-9). Охладители пара для деаэраторов атмосферного типа (рис. 2-10) состоят из корпуса, к которому с одной стороны на фланце присоединяется водяная камера, с другой — приваривается плоское донышко. Горизонтальный аппарат устанавливают на двух опорах. Внутри корпуса помещается трубная система змеевикового типа, выполненная из стальных труб диаметром 25×2 *мм*, развальцованных в трубной доске.

Техническая характеристика охладителя выпара к деаэрационным колонкам повышенного давления

Вес охладителя без воды, *кг* 1 780
Вес охладителя с водой, *кг* 2 810

Рабочее давление:

в паровом пространстве, *ати* 2,5
в водяном пространстве, *ати* 8

Пробное гидравлическое давление:

в паровом пространстве, *ати* 7,5
в водяном пространстве, *ати* 11

Поверхность трубок, $м^2$ 28

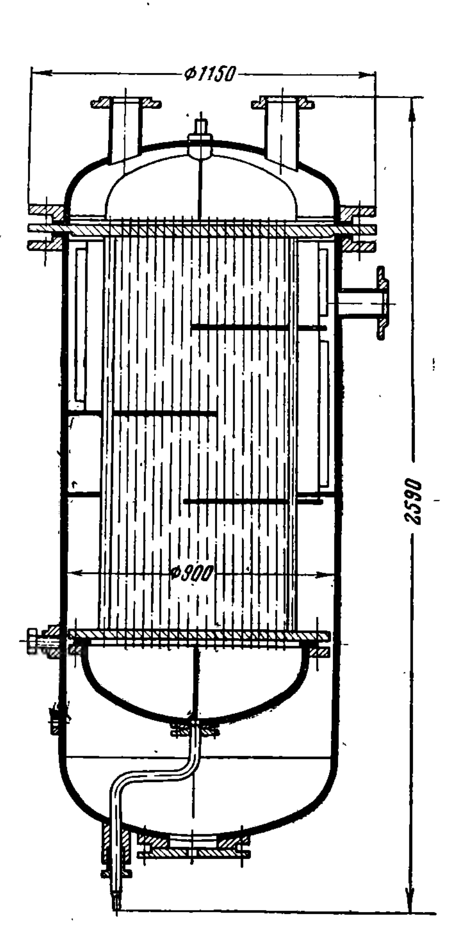


Рис. 2-9. Охладитель выпара для деаэратора повышенного давления.

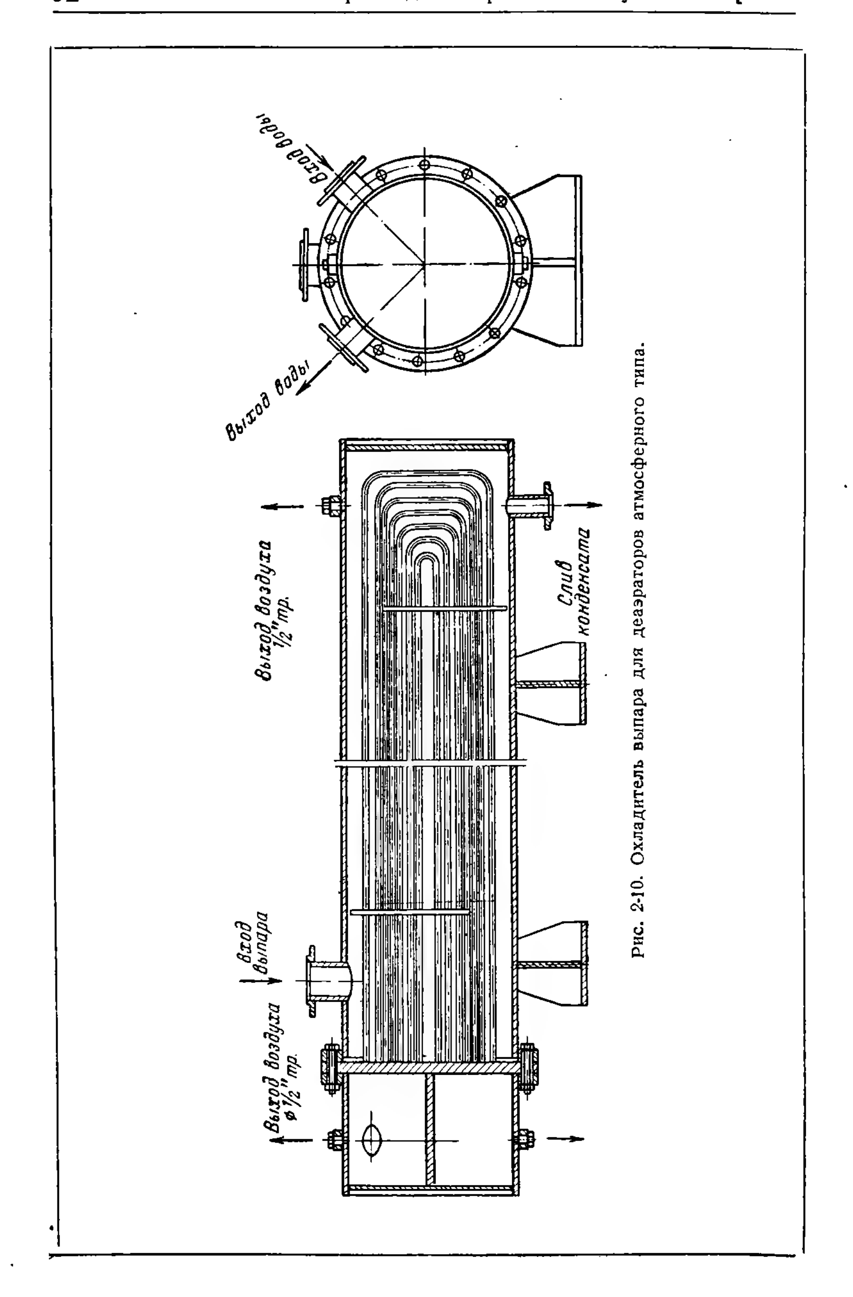


Рис. 2-10. Охладитель выпара для деаэраторов атмосферного типа.

Техническая характеристика охладителя выпара к деаэрационным колонкам атмосферного типа

Рабочее давление в паровом пространстве, *ати*	0,1
Рабочее давление в водяном пространстве, *ати*	4
Температура выпара, °С	95
Температура воды	
на входе, °С	50
на выходе, °С	80
Пробное гидравлическое давление, *ати*	7

Комплект поставки деаэратора

Деаэрационная колонка	1 шт.
Охладитель выпара	1 шт.
Регулирующий клапан	1 шт.
Регулятор уровня	1 шт.
Регулятор перелива	1 шт.
Запорный вентиль	1 шт.
Воздушный вентиль	1 шт.
Вентиль запорный	4 шт.
Предохранительный клапан	2 шт.
Импульсная трубка	6 *м*
Термометр ртутный	1 шт.
Манометр трубчатый	1 шт.
Указатель уровня воды деаэраторного бака	1 комплект

2-3. МАСЛО- И ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ

В параграфе представлены конструкции и технические данные теплообменных аппаратов, применяемых в схемах тепловых электрических станций для охлаждения масла, идущего на смазку и регулирование паровых турбин, и воздуха охлаждающего генераторы.

В табл. 2-16 представлены технические данные маслоохладителей, выпускаемых ЛМЗ Кировским, ХТГЗ, НЗЛ и Саратовским заводом тяжелого машиностроения.

Конструкции некоторых типовых маслоохладителей приведены на рис. 2-11 и рис. 2-12.

В табл. 2-17 отдельно приведёны данные по маслоохладителям, выпускаемым заводом Пяргале.

В табл. 2-18 представлены технические данные по шести типам воздухоохладителей, выпускаемых ЛМЗ.

В табл. 2-19, 2-20 и 2-21 даны характеристики воздухоохладителей трех серий конструкции завода Электросила.

Таблица 2-16

Маслоохладители

Завод-изготовитель	Тип маслоохладителя	Особенности конструкции и корпуса	Поверхность охлаждения, $м^2$	Для какой воды	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес без воды и масла, *кг*	Типы турбин, с которыми поставляется маслоохладитель
ХТГЗ	МО-130	Сварной, камеры чугунные	22	Пресной	Латунь		700	АК-50-1
ЛМЗ	М-21	То же	21	Пресной и морской	То же		770	АП-25-1, АТ-25-1 АК-25-1, АК-25-2 МК-6-1, МК-6-2
Саратовский завод тяжелого машиностроения	МП-21 МП-21	Сварной однокорпусный	21 21	Пресной Морской	Латунь Мельхиор	14/12 17/15	700 834	АК-12, ДК-20-120 АТ-25-2 АК-50-1 ВР-25-1 ВР-25-2
ЛМЗ	М-37	Сварной, камеры чугунные	37	Пресной и морской	Латунь		950	АК-50-1 АК-50-2
Саратовский завод тяжелого машиностроения	МП-37 МП-37	Сварной однокорпусный	37 37	Пресной Морской	Латунь Мельхиор	14/12 17/15	920 1 100	АП-25-2 ВПТ-25-3 ВТ-25-4

Завод-изготовитель	Тип маслоохладителя	Особенности конструкции и корпуса	Поверхность охлаждения, $м^2$	Для какой воды	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес без воды и масла, *кг*	Типы турбин, с которыми поставляется маслоохладитель
Саратовский завод тяжелого машиностроения	МП-37	Сварной однокорпусный	37	Морской	Мельхиор	17/15	1 100	ВК-25-1 ВК-50-1 ВК-100-2
Кировский	—	Литой	22	Пресной и морской	Латунь	—	1 040	АК-3-1 (ОК-30) АК-3, 5-1 (ОК-35)
Кировский	—	Сварной	10	Пресной	Латунь	—	350	АП-12-1 АТ-12-1 АТ-12-2 АК-12-1
	—	То же	10	Морской	То же	—	380	
Кировский	—	Литой	10	Пресной и морской	То же	—	1 440	АП-12-1 АТ-12-1 АТ-12-2 АК-12-1
НЗЛ	МО	Сварной	—	Пресной	Латунь	—	500	АП-6-1 АП-6-2 АП-4-1 АП-2, 5-1

Продолжение табл. 2-16

Завод-изготовитель	Тип маслоохладителя	Особенности конструкции и корпуса	Поверхность охлаждения, $м^2$	Для какой воды	Материал трубок	Диаметр трубок, *мм*	Вес без воды и масла, *кг*	Типы турбин, с которыми поставляется маслоохладитель
НЗЛ	У0	Сварной	0,55	Пресной	Л68	14/12	60,5	—
НЗЛ	У0-М	То же	0,55	Морской	Л070-1	14/12	62,0	—
НЗЛ	У1	То же	1,1	Пресной	Л68	14/12	78,5	—
НЗЛ	У1-М	То же	1,1	Морской	Л070-1	14/12	80,0	—
НЗЛ	У2	То же	2,0	Пресной	Л68	14/12	125,0	—
НЗЛ	У2-М	То же	2,0	Морской	Л070-1	14/12	126,5	АР-1-3,
НЗЛ	У3	То же	3,1	Пресной	Л68	14/12	129,5	АР-2-1
НЗЛ	У3-М	То же	3,1	Морской	Л070-1	14/12	131,0	ОП-1, 5-2
НЗЛ	У5	То же	5	Пресной	Л68	14/12	288,5	АКв-6, АКв-4
НЗЛ	У5-М	То же	5	Морской	Л070-1	14/12	292,5	АК-6, АП-6 АР-6-11 АР-6-6 АК-4, АП-4 АР-1-1, АР-1-2
НЗЛ	У8	То же	8	Пресной	Л68	14/12	346	АКв-9
НЗЛ	У8-М	Сварной	8	Морской	Л070-70	14/12	349,5	

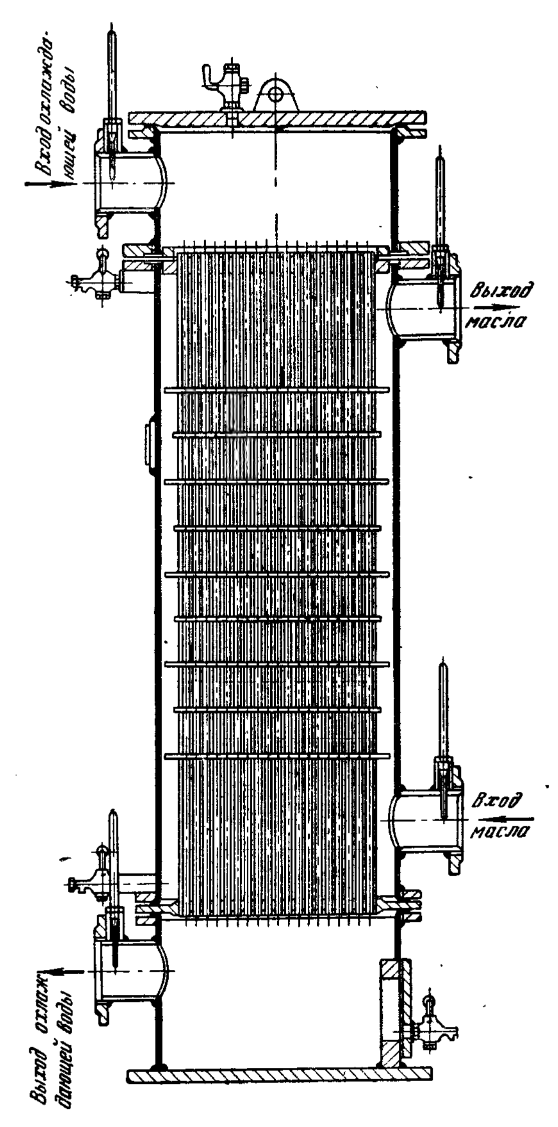


Рис. 2-11. Маслоохладитель типа МП-37.

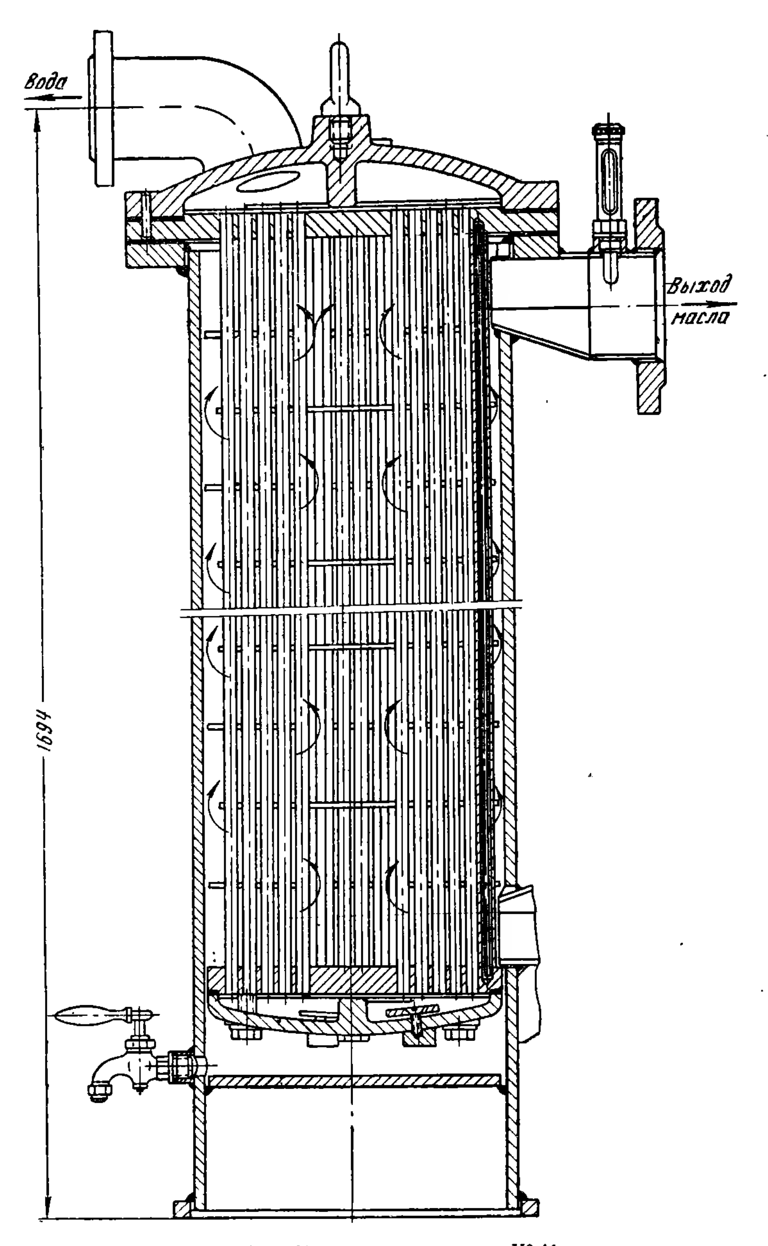


Рис. 2-12. Маслоохладитель типа У8-М.

Таблица 2-17

Маслоохладители завода Пяргале, поставляемые в комплекте с турбинами

Обозначение турбины, в комплект поставки которой входит маслоохладитель	АР-1У	АП-0,75Б	ОР-1,5-3	РП-0,75	АП-1,5	—	—	—	—
Технические характеристики / Тип маслоохладителя	М-5	М-7,5	МО-8	МО-14	МО-19	МП-21	МП-37	М-60	МП-65
Расчетное количество отводимого тепла, *ккал/ч*	—	48 200	35 000	70 000	100 000	—	—	240 000	—
Расчетный расход охлаждаемой воды, *т/ч*	16,2	20	20	25	35	—	—	130	—
Расчетный расход масла через маслоохладитель, $м^3/ч$	—	9,0	10,3	11,5	20	—	—	73,5	—
Температура масла на входе в маслоохладитель, °С	65	60	60	61,1	60	55	55	55	55
Давление масла, *ата*	2,2	10,5	2,2	2,2	2,2	3,3	3,3	3,3	3,3
Число ходов по воде	4	2	2	2	2	1	1	4	2
Гидравлическое сопротивление по маслу при расчетном расходе, $кГ/см^2$	—	1,25	0,176	0,23	0,26	—	—	1,48	—
Поверхность охлаждения, $м^2$	5	7,7	8,55	14	19	21	37	60	65
Количество трубок, шт.	108	242	266	266	384	290	438	513	434
Диаметр трубок, *мм*	14/12	12/10	14/12	14/12	12/10	16/14,5	16/14,5	19/17	19/17
Длина трубок, *мм*	1 225	905	735	1 200	1 315	1 490	1 467	2 140	2 540
Габариты маслоохладителя, *мм*:									
длина	340	367	710	710	710	560	588	1 110	662
ширина	570	367	625	625	625	820	960	1 150	1 000
высота	1 610	1 208	1 080	1 625	1 660	2 315	2 265	3 130	3 331
Сухой вес маслоохладителя, *кг*	278	197	356	451	477	799	1 070	2 360	1 640

П р и м е ч а н и е. Маслоохладители МО-14, МО-19, МП-21, МП-37, М-60 и МП-65 изготовляют с охлаждением масла морской и пресной водой.

Технические данные

Тип охладителя	Мощность генератора, *квт*	Тепловые потери, поглощаемые воздухоохладителем, *квт*	Расход воздуха, *м³/сек*	Наибольшая начальная температура воздуха, °C	Наибольшая конечная температура воздуха, °C	Начальная температура воды, °C	Расход воды, *м³/ч*
B	1 500	90	4	56	35	15	9
						25	45
D	2 500	150	5	62	35	15 25,0	22,5 85,0
	3 000	170	6	65		15 25	22,5 85,0
E	4 000 5 000	200	7	61		25	100
	6 000 7 500	300	11	60	35	15 25	60 150
G	11 000	500	18	60	35	15	75
	12 000					25	175
I	24 000	900	28	64	35	15	135
						25	315
K_2	50 000	1 300	40	64	35	28	650

Таблица 2-18

воздухоохладителей

Потери водяного напора, *м вод. ст.*	Воздушное сопротивление воздухоохладителя, *мм вод. ст.*	Число элементов	Число трубок в одном элементе	Расстояние между трубными досками	Габариты, *мм*	Вес одной секции с водой, *кг*	Пробное гидравлическое давление, *ата*
0,1							
1,72	15	1	160	1 500	1 820×1 280× ×496	1 400	4
0,28 4,55	15	1	224	1 500	1 865×1 740× ×496	2 000	4
0,33 3,05	18						
1,08							
0,44 2,3	20	1	256	1 525	1 990×2 000× ×550	2 250	4
0,45							
1,9	25	2	180	2 150	2 445×1 170× ×596	2 160	3
1,0							
4,82	25	2	224	2 740	3 103×1 740× ×596	3 500	2
2,6	25	4	264	2 470	2 833×1 398× ×695	3 940	2

Таблица 2-19

Воздухоохладители завода Электросила (старая серия)

Тип охладители	Тип генератора	Тепловые потери, отводимые охладителем, *квт*	Расход воздуха, $м^3/ч$	Расход воды, $м^3/ч$	Потеря водяного напора, *м вод. ст.*	Воздушное сопротивление, *мм. вод. ст.*	Число секций	Соединения по воде	Соединения по воздуху	Габариты, *мм*	Вес одной секции с водой, *кг*
ВО-2	Т2А-1,5-2	80	3,5	50	0,6	12	1	—	—	1 500×1 290×600	1 415
ВО-3	Т2-3-2	140	4	60	0,9	10	1	—	—	1 825×1 290×600	1 750
ВО-3	Т2-3,5-2	150	4	60	0,9	10	1	—	—	1 825×1 290×600	1 750
Е	Т2-6-2	200	8	150	2,5	10	1	—	—	2 000×2 125×600	2 790
G	Т2-12-2	350	12	175	2	10	2	Параллельно	Параллельно	2 450×1 290×600	2 250
I	Т2-25-2	650	20	315	6	35	2	То же	Последовательно	3 100×1 740×600	3 625
ВО-50	Т2-50-2	900	36	350	4	40	8	2 секции последовательно,	Последовательно	2 450×1 290×600	2 250
ВО-100	Т2-100-2	1 700	50	500	7	25	4	Параллельно	Параллельно	2 450×1 290×600	—

Примечание. Номинальная температура входящей воды 28° С; номинальная температура охлаждаемого воздуха 40° С; пробное гидравлическое давление 3 *ати*; охлаждающие трубки из латуни диаметром 24/22 или 19/17 *мм*.

Таблица 2-20

Воздухоохладители завода Электросила (промежуточная серия) (максимальное рабочее давление воды 2 *ати*)

Тип охладителя	Тип генератора	Тепловые потери, отводимые охладителем, *квт*	Расход воздуха, $м^3/сек$	Расход воды, $м^3/ч$	Температура входящей воды, °С	Температура охлаждающего воздуха, °С	Потеря водяного напора, *м вод. ст.*	Воздушное сопротивление, *мм вод. ст.*	Число секций	Соединение по воде	Соединение по воздуху	Габариты секции, *мм*	Вес секции без воды, *кг*
ВО-286-0,7	Т2-3,5-2	130	4	60	30	40	2	30	1	—	—	1 100×187×596	1 080
ВО-288-0,7	Т2-3,5-2	130	4	60	33	40	1,5	30	1	—	—	1 100×1 870×596	1 170
ВО-286-1,4	Т2-6-2	215	8,5	120	30	40	3	30	1	—	—	1 800×1 870×596	1 420
ВО-288-1,4	Т2-6-2	215	8,5	120	33	40	2	30	1	—	—	1 800×1 870×596	1 590
ВО-286-2	Т2-12-2	350	12	150	30	40	3	35	1	—	—	2 400×1 870×596	1 650
ВО-288-2	Т2-12-2	350	12	150	33	40	2	35	1	—	—	2 400×1 870×596	1 850
2×ВО-286-2	Т2-25-2	650	20	250	30	40	2,5	25	2	Параллельно	Параллельно	2 400×1 800×596	1 650
2×ВО-288-2	Т2-25-2	650	20	250	33	40	1,5	25	2	Параллельно	Параллельно	2 400×1 880×596	1 860

Таблица 2-21

Воздухоохладители завода Электросила (новая серия) (максимальное рабочее давление воды 2 *ати*)

Тип охладителя	Тип генератора	Поверхность охлаждения по воздушной стороне, $м^2$	Тепловые потери, отводимые охладителем, *квт*	Расход воздуха, $м^3/сек$	Расход воды, $м^3/сек$	Число секций	Температура охлаждающей воды, °C	Температура охлаждающего воздуха, °C	Воздушное сопротивление *мм вод. ст.*	Гидравлическое сопротивление, *мм вод. ст.*	Вес секции с водой, *кг*
ВОП-3	Т-2-3,5-2	182	140	3,9	60	1	30	40	25	2,5	1 285
2ВОП-3	Т2-6-2	364	200	8	80	2	30	40	25	1,7	1 285
ВОП-12	Т2-12-2	515	350	12	100	2	30	40	22	2,0	1 600
ВОП-25	Т2-25-2	820	650	18	300	2	30	40	16	1,7	2 500
ХТГЗ	Т2-25-2	—	560	—	200	2	25	40	—	—	—
ВОП-75	Т-2-50-2	1 790	1 200	32	220	4	30	40	46	5,5	3 000

2-4. КОНДЕНСАТОРЫ

В стационарных паротурбинных установках широко применяются поверхностные конденсаторы с водяным охлаждением. В передвижных паротурбинных установках, а также при поршневых паровых машинах используются воздушные и испарительные конденсаторы, а также конденсаторы смешения.

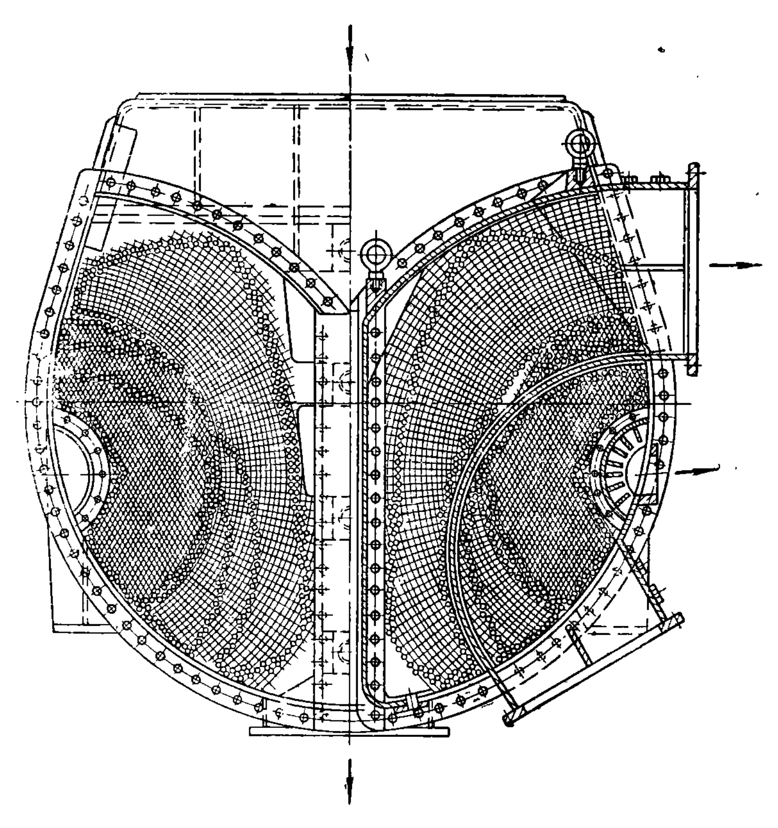


Рис. 2-13. Поперечный разрез конденсатора ЛМЗ типа 25-К-6 к турбине мощностью 25 000 *квт*.

Таблица 2-22

Конденсаторы

Завод-изготовитель	Кировский завод				Ленинградский металлический завод							
Тип конденсатора	ОК 300 (OV)	С-20	С-26	С-46	12-К-1	6-К-1	6-КП-1	6-КП-2	6-КП-3	6-КМ-1	6-КМ-2	6-КМ-3
Технические характеристики / Тип турбин	АК-3-1 АК-3,3-1	АП-2,5-1 АК-2,5-1	АП-4-1 АК-4-1	АП-6-1	АК-12-1	МК-6-1 и МК-6-2						МК-6-1 МК-6-2
Вес конденсатора без воды, *т*	8,9	6,6	7,2	14,9	22,6	32	44,9	42,5	40,9	51,2	45,2	47,2
Пробное гидравлическое давление, *кГ/см²*	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Число ходов воды	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Число трубок	1 728	1 020	1 400	—	3 600	4 960	4 420	3 880	3 340	4 420	3 860	3 340
Диаметр трубок, *мм*	17/19	17/19	17/19	17/19	17/19	17/19	22/24	22/24	22/24	22/24	22/24	22/24
Длина трубок, *мм*	3 550	3 100	3 100	—	4 160	5 070	6 080	6 080	6 080	6 080	6 080	6 080
Материал трубок	Латунь Л68				Латунь Л070-1							
Поверхность охлаждения конденсатора, *м²*	343	176	243	465	840	1 480	2 000	1 750	1 500	2 000	1 750	1 500
Площадь сечения одного хода воды по трубкам, *м²*	—	—	—	—	—	0,56	0,84	0,735	0,635	0,74	0,735	0,635
Гидравлическое сопротивление конденсатора, *м вод. ст.*	5,8/4,5	4,86	4,8	4,0	3,8	6,6	2,74	3,5	4,75	2,74	3,5	4,75

Продолжение табл. 2-22

Завод-изготовитель	ЛМЗ											
Тип конденсатора	24-К-1	24-К-2	24-К-3	24-К-4	24-К-5	24-К-6	25-К-1	25-К-2	25-К-3	25-К-4	25-К-5	25-К-6
Технические характеристики	Тип турбин											
	АК-25-1					АТ-25-1			АП-25-1		АК-25-2	
Вес конденсатора без воды, *т*	75	75	65	47	30	52	37	23	28	43,5	43,5	35,5
Пробное гидравлическое давление, *кГ/см²*	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3
Число ходов воды	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Число трубок	4 600	4 600	4 600	5 690	5 690	5 690	4 236	4 182	4 540	4 850	3 610	4 850
Диаметр трубок, *мм*	22/24	22/24	22/24	17/19	17/19	17/19	17/19	17/19	17/19	17/19	22/24	17/19
Длина трубок, *мм*	5 564	5 564	5 564	4 770	4 770	4 770	5 070	5 070	5 070	5 170	5 170	5 170
Материал трубок	Л68	Л68 и ЛО70-1		Л68		ЛО70-1						Л68
Поверхность охлаждения конденсатора, *м²*	1 900	1 900	1 900	1 590	1 590	1 590	1 260	1 250	1 350	1 480	1 390	1 480
Площадь сечения одного хода воды по трубкам, *м²*	0,87	0,87	0,87	0,64	0,64	0,64	0,48	0,47	0,51	0,55	0,69	0,55
Гидравлическое сопротивление конденсатора, *м вод. ст.*	3,1	3,1	3,1	4,7	4,7	4,7	9,4	9,4	8,0	5,9	3,5	5,9

Конденсаторы Ленинградского

Тип конденсатора	25-К-7	25-К-8	25-К-9	25-К-10	25-КП-1
					Тип тур
Технические характеристики	АК-25-2		АТ-25-1 АП-25-2	АК-25-1	АТ-25-1
Вес конденсатора без воды, *т*	54,5	44,6	54,4	44,6	43,7
Пробное гидравлическое давление водяного пространства, *кГ/см²*	3	3	3	3	3
Число ходов воды	2	2	2	2	2
Число труб	6 000	6 000	4 300	4 300	6 000
Диаметр трубок, *мм*	17/19	17/19	22/24	22/24	17/19
Длина трубок, *мм*	6 075	6 075	6 080	6 080	6 080
Материал трубок	Л070-1	Л68	ЛО70-1		
Поверхность охлаждения конденсатора, *м²*	2 150	2 150	1 950	1 950	2 150
Площадь сечения одного хода воды по трубкам, *м²*	0,68	0,68	0,82	0,82	0,68
Гидравлическое сопротивление конденсатора, *м вод. ст.*	4,7	4,7	3,0	3,0	4,7

Тип конденсатора	25-КЦС-1	25-КЦС-2	25-КЦС-3	50-К-1	50-К-2
					Тип тур
Технические характеристики	АТ-25-1 АП-25-1	АТ-25-2 АК-25-2			АК-50-1
Вес конденсатора без воды, *т*	34,8	32,8	30,8	140	131
Пробное гидравлическое давление водяного пространства, *кГ/см²*	3	3	3	2	2
Число ходов воды	2	2	2	2	2

Таблица 2-23

металлического завода

25-КП-2	25-КП-3	25-КП-4	25-КМ-1	25-КМ-2	25-КМ-3	25-КМ-4
бины						
АП-25-1	и	АК-25-2	АТ-25-1	АП-25-1	АК-25-2	
42,2	40,2	36,2	50	48,5	46,5	44,5
3 2 4 420	3 2 3 880	3 2 3 340	3 2 6 000	3 2 4 420	3 2 3 880	3 2 3 340
22/24 6 080	22/24 6 080	22/24 6 080	17/19 6 080	22/24 6 080	22/24 6 080	22/24 6 080
Л68				ЛО 70-1		
2 000	1 750	1 500	2 190	2 000	1 750	1 500
0,84	0,735	0,635	0,68	0,84	0,735	0,635
2,74	3,5	4,75	4,7	2,74	3,5	4,75

Продолжение табл. 2-23

50-К-3	50-К-4	50-К-5	50-К-6	50-К-7	50-К-8 50-К-5	100-К-1 (2 конденсатора)
ины						
	АП-50-1	АК-50-1	АК-50-1	—	—	АК-100-1
85	82	81	88	64	55	80
2 2	3 1	3 2	3 2	3 2	3 2	3 1

Тип конденсатора	25-КЦС-1	25-КЦС-2	25-КЦС-3	50-К-1	50-К-2
					Тип тур
Технические характеристики	АТ-25-1 АП-25-1	АТ-25-2 АК-25-2	АК-50-1		
Число труб	4 420	3 880	3 340	6 200	6 200
Диаметр трубок, *мм*	22/24	22/24	22/24	23/25	23/25
Длина трубок, *мм* .	6 060	6 060	6 060	6 470	6 470
Материал трубок .					
Поверхность охлаждения конденсатора, $м^2$	2 000	1 750	1 500	3 120	3 120
Площадь сечения одного хода воды по трубкам, $м^2$	0,84	0,735	0,635	1,29	1,29
Гидравлическое сопротивление конденсатора, *м вод. ст.* .	2,74	3,5	4,75	6,0	6,0

Таблица 2-24

Конденсаторы к турбинам турбовоздуходувок Невского завода им. Ленина

Тип турбины	АКв—12	АКв—9	АКв—6	АКв—4
Технические характеристики \ Тип конденсатора	АКв—12	АКв—9	АКв—6	АКв—4
Вес конденсатора без воды, *т*	25,0	23,5	14,0	12,5
Пробное гидравлическое давление для водяного пространства, *ати*	3	3	3	3
Число ходов	2	2	2	2
Длина трубок, *мм*	5 455	5 455	3 975	3 655
Поверхность конденсатора по наружному диаметру трубок, $м^2$	1 300	1 160	480	365

Продолжение табл. 2-23

50-К-3	50-К-4	50-К-5	50-К-6	50-К 7	50-К-8 50-К-5	100-К-1 (2 конденсатора)
бины						
	АП-50-1	АК-50-1	АК-50-1	—	—	АК-100-1
6 200	8 150	6 200	6 518 23/25	6 200	6 200	8 150
23/25	17/19	23/25	21/25	23/25	23/25	17/19
6 470	7 490 Л68	7 090	6 480	7 090	7 090	7 490
3 120	3 600	3 400	3 520	3 400	3 400	3 600
1,29	1,85	1,29	1,43	1,99	1,29	1,85
6,0	3,4	6,6	4,9	5,6	5,6	3,4

Продолжение табл. 2-24

Тип турбины	АКв—12	АКв—9	АКв—6	АКв—4
Тип конденсатора / Технические характеристики	АКв—12	АКв—9	АКв—5	АКв—4
Площадь сечения одного хода трубок, $м^2$	0,229	0,204	0,117	0,102
Нормальный расход охлаждающей воды, $м^3/ч$	3 800	2 900	2 200	1 600
Нормальная расчетная температура охлаждающей воды, °С	25	25	25	25
Гидравлическое сопротивление конденсатора, *м вод. ст.*	5,0	4,5	5,6	4,0
Расчетный расход пара, *т/ч*	45	40	28,6	18,9
Габариты конденсатора, *мм*:				
длина	6 800	6 800	5 000	4 650
ширина	2 600	2 600	2 300	2 300
высота	3 800	3 800	3 200	3 200

Примечания; 1. Материал трубок для пресной воды—латунь Л 68.
2. Диаметр трубок 19/17 *мм*.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3-1. КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Приводятся основные технические данные, назначение и конструкции вертикальных и горизонтальных, одноходовых и многоходовых кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, предназначенных для осуществления следующих процессов: нагрев или охлаждение жидкостей жидкостями (теплообменники, холодильники); нагрев жидкостей различными парами (подогреватели, дефлегматоры, конденсаторы); нагрев или охлаждение газов жидкостями или различными парами (холодильники и подогреватели газов).

Кожухотрубчатые теплообменные аппараты подразделяют на следующие типы:

ТН — одно- и многоходовые с неподвижными трубными решетками;

ТЛ — одно- и многоходовые с неподвижными трубными решетками и с линзовым компенсатором на корпусе;

ТП — двух- и четырехходовые с плавающей головкой;

ТЭ — одноходовые элементные теплообменники.

В соответствии с нормалью НМХ-105-56 теплообменные аппараты изготавливают из углеродистых сталей марок Ст. 3, Ст. 4, стали 10 или кислотостойких сталей марок IX18Н9Т, Х18Н12М2Т, Х18Н12М3Т. Диаметры их корпусов равны 159, 273, 400, 600, 800, 1 000, 1 200 и 1 400 *мм*.

Трубы, применяемые для изготовления теплообменных аппаратов, имеют длины 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 3 500, 4 000, 4 500, 5 000 и 6 000 *мм* с диаметрами 25×2, 38×2 и 57×2,5 *мм*.

Условные давления, на которые выпускают теплообменные аппараты, приведены в табл. 3-1.

Таблица 3-1

Классификация теплообменных аппаратов по условным давлениям

Тип	Диаметр корпуса, *мм*	$P_у$, *кГ/см²*
ТН, ТЭ	159, 273	2,5; 6; 10; 16; 25; 40
ТН	400—1 200	2,5; 6; 10; 16
ТН	1 400	2,5; 6; 10
ТП	400—800	2,5; 6; 10; 16
ТЛ	400—1 400	2,5; 6

Допускаемые рабочие давления в теплообменных аппаратах уменьшаются с ростом температуры теплоносителей (табл. 3-2).

Таблица 3-2

Изменение допускаемого давления с ростом температуры

$P_у$, $кГ/см^2$	Наибольшее допускаемое рабочее давление $P_{доп}$, $кГ/см^2$, при температуре			
	до 200° С	до 250° С	до 300° С	до 350° С
2,5	2,5	2,3	2,0	1,8
6,0	6,0	5,5	5,0	4,4
10,0	10,0	9,2	8,2	7,3
16,0	16,0	15,0	13,0	12,0
25,0	25,0	23,0	20,0	18,0
40,0	40,0	37,0	33,0	30,0

В теплообменных аппаратах типов ТН и ТЛ трубки в трубных решетках располагаются по равностороннему треугольнику, а в теплообменниках типа ТП для облегчения чистки межтрубного пространства — по квадрату.

Теплообменные аппараты изготовляют одно-, двух-, четырех- и шестиходовыми по трубному пространству. В межтрубном пространстве устанавливают сегментные перегородки.

Расстояния между сегментными перегородками в межтрубном пространстве

Диаметр корпуса теплообменного аппарата, *мм*	Расстояние между перегородками, *мм*
159	200
273	300
400	300
600	400
800	400
1 000	500
1 200	600
1 400	700

Таблица 3-3

Штуцеры для теплообменных аппаратов при теплоносителях жидкость—жидкость или пар—жидкость (Диаметры и расположение штуцеров для газа указываются в заказе на теплообменный аппарат)

Обозначение и назначение штуцеров	Диаметры корпусов, мм							
	159	273	400	600	800	1 000	1 200	1 400
	Диаметры штуцеров, мм							
А—вход и выход теплоносителя в трубном пространстве	50	80	100	150	200	250	300	350
Б—вход и выход теплоносителя в межтрубном пространстве	80	100	150	200	250	300	400	500
В—выход конденсата (остатка жидкости) или воздуха	25	32	40	70	80	100	125	150
Г—опорожнение	—	—	25	32	40	50	70	80

Теплообменные аппараты типов ТН, ТП и ТЛ изготавливают с различными типами крышек, применяемых в различных сочетаниях. Крышки могут быть: камерные сварные с плоскими донышками, эллиптические, камерные разъемные, эллиптические откидные и камерные опорные.

В таблицах использованы следующие условные обозначения:

d — наружный диаметр трубы, *мм*;
$d_у$ — условный диаметр штуцера, *мм*;
l — длина трубы, *мм*;
H — общая высота (по крышкам) вертикального или длина горизонтального теплообменного аппарата, *мм*;
$F_у$ — условная поверхность теплообмена, *м*^{2};
$F_р$ — расчетная поверхность теплообмена, *м*^{2};
f_1, f_2 — площади сечения соответственно межтрубного и трубного пространств, *м*^{2};
$P_у$ — условное давление, *кГ/см*^{2};
n — количество труб, шт.;
G — вес заполненного теплообменного аппарата, *кг*;
G_0 — сухой вес теплообменного аппарата, *кг*;
G_1 — суммарный вес крышек, трубных плит и штуцеров, *кг*;
G_2 — вес 1 *пог. м* пучка и обечайки, *кг*;
G_3 — вес жидкости с удельным весом 1 200 *кг/м*^{3} в объеме крышек, *кг*;
G_4 — вес жидкости с удельным весом 1 200 *кг/м*^{3} в объеме корпуса длиной 1 *м*, *кг*;
t — шаг разбивки трубной решетки, *мм*;
l_3 — вылеты штуцеров, *мм*;
l_2 — расстояние от трубной решетки до оси штуцера, *мм*.

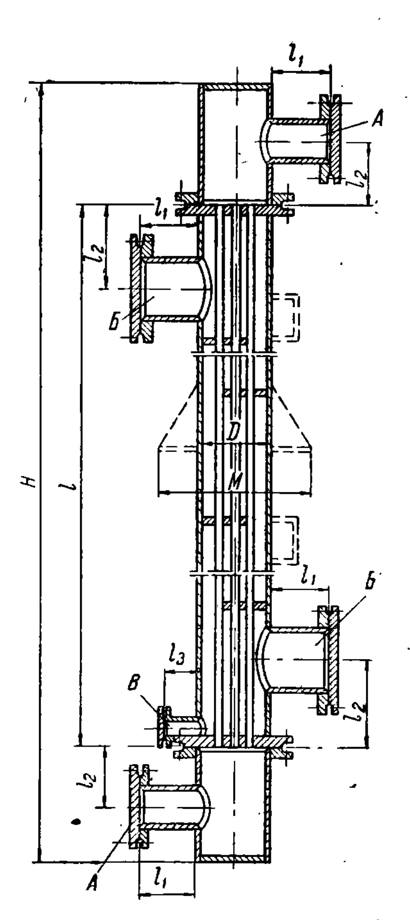
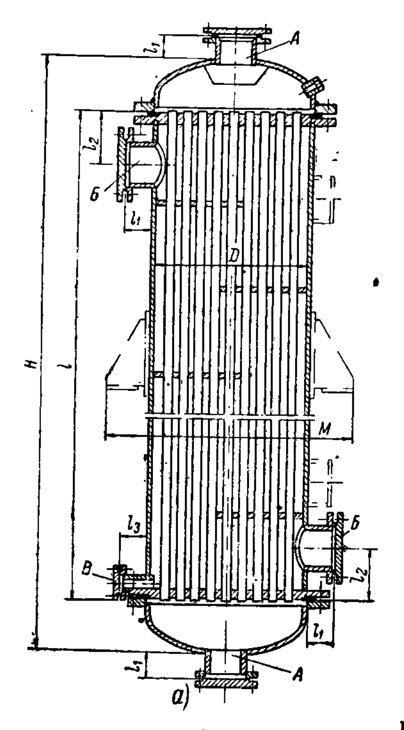


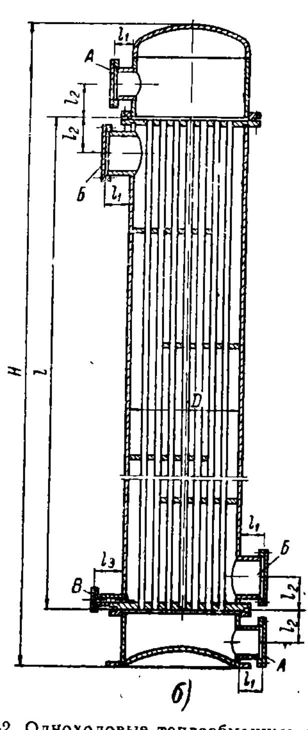
Рис. 3-1. Одноходовой теплообменный аппарат типа ТН с диаметром корпуса 159 или 273 *мм*, имеющий две камерные сварные крышки с плоскими донышками.

Таблица 3-4

Одноходовые теплообменные аппараты типа ТН (рис. 3-1)

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*									
	159				273					
$F_у$, $м^2$	1	2	4	6	4	6	10	12	16	20
$F_р$, $м^2$	0,9	1,9	4	6	3,0	6,5	9,6	13	16	19,5
l, *мм*	1 000	2 000	4 000	6 000	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
H, *мм*	1 520	2 520	4 520	6 520	1 620	2 620	3 620	4 620	5 620	6 620
n, шт.	13				42					
d/t, *мм*	25/32				25/32					
f_1, $м^2$	0,011				0,032					
f_2, $м^2$	0,0044				0,014					
Штуцеры А: $d_у$, *мм*	50				80					
Штуцеры А: l_1, *мм*	120				140					
Штуцеры А: l_2, *мм*	130				140					
Штуцеры Б: $d_у$, *мм*	80				100					
Штуцеры Б: l_1, *мм*	120				140					
Штуцеры Б: l_2, *мм*	140				160					
Штуцеры В: $d_у$, *мм*	25				32					
Штуцеры В: l_3, *мм*	120				140					





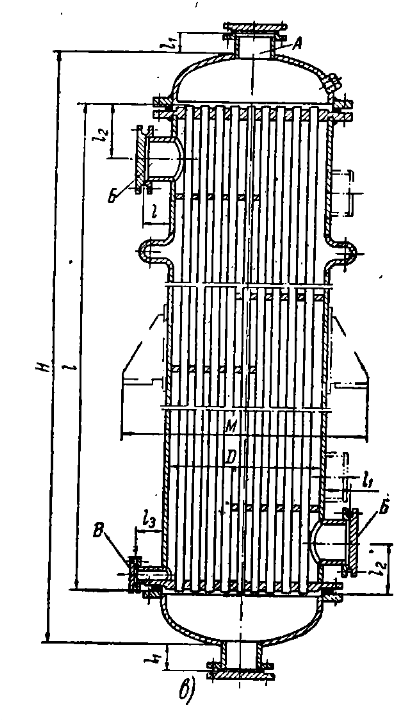


Рис. 3-2. Одноходовые теплообменные аппараты.

а — типа ТН с двумя эллиптическими крышками; *б* — типа ТН с одной сварной камерной и одной опорной камерной крышками; *в* — типа ТЛ с двумя эллиптическими крышками.

Таблица 3-5

Условные давления и весовые данные одноходовых теплообменных аппаратов типа ТН

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*					
	159					
$P_у$, *кг/см*²	2,5	6	10	16	25	40
G_1, *кг*	83	89	108	119	166	175
G_2, *кг*	32					
G_3, *кг*	8					
G_4, *кг*	18,6					

Продолжение табл. 3-5

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*					
	273					
$P_у$, *кг/см*²	2,5	6	10	16	25	40
G_1, *кг*	108	117	151	180	243	321
G_2, *кг*	96					
G_3, *кг*	37					
G_4, *кг*	54,3					

Примечания 1. $G_0=G_1+G_2l$; 2. $G=G_0+G_3+G_4l$.

Таблица 3-6

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) одноходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ (рис. 3-2) с диаметрами корпусов от 400 до 800 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*						Условная поверхность теплообмена, *м*²
400	600		800			
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.						
121	283	121	511	211	97	
9/1 000	—	—	—	—	—	10
13/1 500	—	—	—	—	—	12
18/2 000	—	—	—	—	—	16
23/2 500	—	21/1 500	—	—	—	20
28/3 000	—	28/2 000	—	—	25/1 500	25
33/3 500	32/1 500	35/2 500	—	—	33/2 000	32
43/4 500	44/2 000	42/3 000	—	36/1 500	42/2 500	40
48/5 000	54/2 500	49/3 500	—	48/2 000	51/3 000	50
56/6 000	65/3 000	57/4 000	—	61/2 500	68/4 000	65
—	87/4 000	71/5 000	77/2 000	74/3 000	85/5 000	80
—	98/4 500	85/6 000	97/2 500	99/4 000	103/6 000	100
—	132/6 000	—	117/3 000	124/5 000	—	125
—	—	—	157/4 000	149/6 000	—	160

Таблица 3-7

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) одноходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ (рис. 3-2) с диаметрами корпусов от 1 000 до 1 400 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*									Условная поверхность теплообмена, *м*²
1 000			1 200			1 400			
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.									
823	361	163	1 189	511	241	1 639	703	317	
—	—	41/1 500	—	—	—	—	—	—	40
—	—	56/2 000	—	—	—	—	—	—	50
—	—	71/2 500	—	—	—	—	—	—	65
—	83/2 000	85/3 000	—	—	83/2 000	—	—	—	80
—	104/2 500	100/3 500	—	—	104/2 500	—	—	109/2 000	100
124/2 000	126/3 000	129/4 500	—	117/2 000	126/3 000	—	—	137/2 500	125
156/2 500	169/4 000	173/6 000	—	148/2 500	169/4 000	—	161/2 000	116/3 000	160
189/3 000	213/5 000	—	—	208/3 500	191/4 500	—	203/2 500	194/3 500	200
253/4 000	255/6 000	—	273/3 000	239/4 000	255/6 000	—	245/3 000	251/4 500	250
317/5 000	—	—	319/3 500	300/5 000	—	—	329/4 000	336/6 000	320
382/6 000	—	—	413/4 500	—	—	374/3 000	413/5 000	—	400
—	—	—	553/6 000	—	—	505/4 000	497/6 000	—	500

Таблица 3-8

Одноходовые теплообменные аппараты типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 400 до 1 400 *мм*

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*					
	400	600		800		
Общее количество трубок, *мм*	121	283	121	511	211	97
Наружный диаметр трубок, *мм*	25	25	38	25	38	57
Шаг трубной решетки, *мм*	32	32	48	32	48	70
Площадь сечения межтрубного пространства, $м^2$	0,067	0,144	0,146	0,252	0,264	0,256
Площадь сечения трубного пространства, $м^2$	0,042	0,097	0,110	0,176	0,190	0,204

Продолжение табл. 3-8

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*								
	1 000			1 200			1 400		
Общее количество трубок, *мм*	823	361	163	1189	511	241	1639	703	317
Наружный диаметр трубок, *мм*	25	38	57	25	38	57	25	38	57
Шаг трубной решетки, *мм*	32	48	70	32	48	70	32	48	70
Площадь сечения межтрубного пространства, $м^2$	0,382	0,377	0,370	0,548	0,553	0,518	0,735	0,745	0,735
Площадь сечения трубного пространства, $м^2$	0,283	0,325	0,342	0,408	0,460	0,506	0,563	0,633	0,666

Таблица 3-9

Размеры штуцеров одноходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ, *мм*

Тип штуцера	Размеры (рис. 3-2)	Диаметр корпуса аппарата, *мм*					
		400	600	800	1 000	1 200	1 400
А	$d_у$	100	150	200	250	300	350
	l_1	140	140	140	150	150	150
	l_2	140	150	175	230	230	250
Б	$d_у$	150	200	250	300	400	500
	l_1	140	140	140	150	150	150
	l_2	175	210	250	230	310	360
В	$d_у$	40	70	80	100	125	150
	l_3	140	140	140	150	150	150

Размер $H-l$ в зависимости от сочетания крышек теплообменных аппаратов типа ТН и ТЛ изменяется в следующих пределах:

Диаметр корпуса аппарата, *мм*	Пределы изменения размера $H-l$, *мм*
400	От 260 до 530
600	От 370 до 680
800	От 470 до 1 130
1 000	От 570 до 1 280
1 200	От 670 до 1 430
1 400	От 770 до 1 600

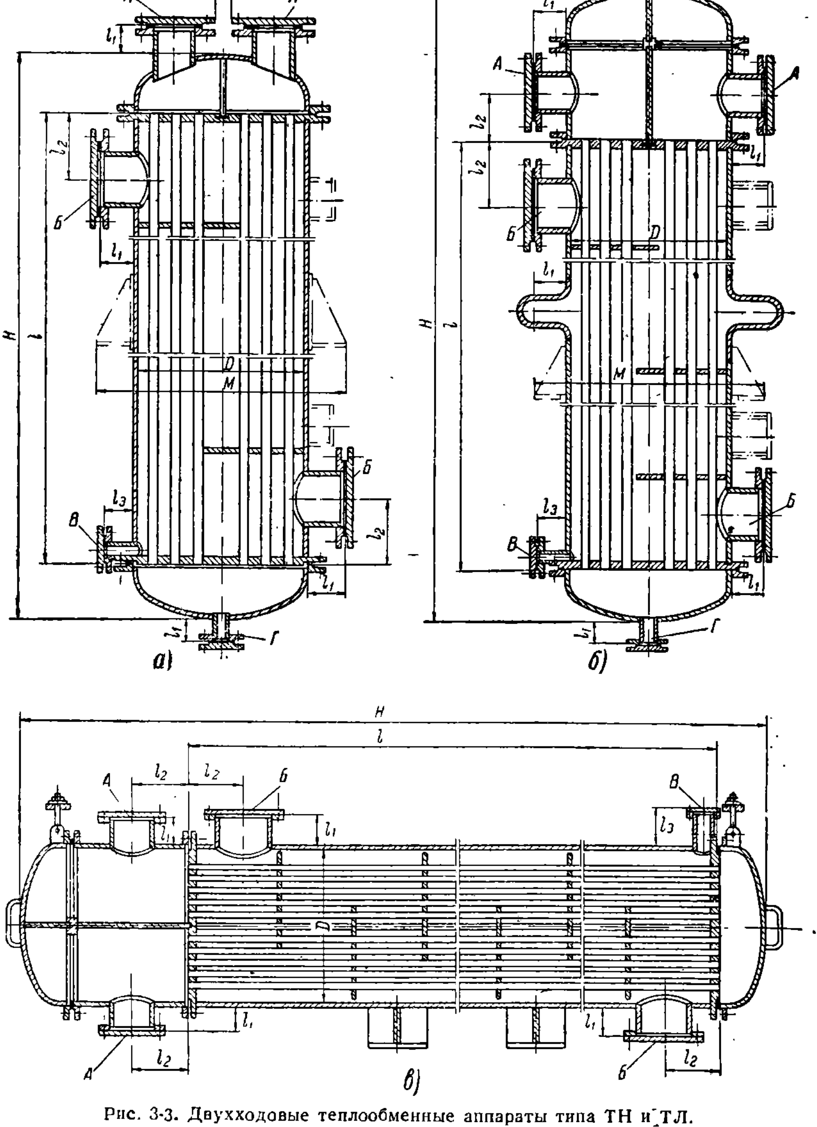


Рис. 3-3. Двухходовые теплообменные аппараты типа ТН и ТЛ.
а — типа ТН с двумя эллиптическими крышками; *б* — типа ТЛ с одной сварной и одной эллиптической крышками; *в* — горизонтальный типа ТН с одной камерной сварной и одной эллиптической крышками.

Таблица 3-10

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) двухходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ (рис. 3-3)

Диаметр корпуса аппарата, *мм*											Условная поверхность теплообмена, *м*²
400	600		800		1 000		1 200		1 400		
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.											
110	266	110	488	196	792	342	1 152	488	1 596	676	
8/1 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10
12/1 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12
17/2 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16
21/2 500	—	19/1 500	—	—	—	—	—	—	—	—	20
25/3 000	—	25/2 000	—	—	—	—	—	—	—	—	25
34/4 000	30/1 500	32/2 500	—	33/1 500	—	—	—	—	—	—	32
38/4 500	40/2 000	38/3 000	—	45/2 000	—	—	—	—	—	—	40
51/6 000	50/2 500	51/4 000	—	57/2 500	—	—	—	—	—	—	50
—	61/3 000	65/5 000	—	68/3 000	—	58/1 500	—	—	—	—	65
—	82/4 000	78/6 000	74/2 000	80/3 500	—	78/2 000	—	—	—	—	80
—	102/5 000	—	93/2 500	103/4 500	—	99/2 500	—	—	—	—	100
—	123/6 000	—	131/3 500	115/5 000	119/2 000	119/3 000	—	—	—	—	125
—	—	—	169/4 500	—	150/2 500	160/4 000	—	170/3 000	—	—	160
—	—	—	188/5 000	—	213/3 500	201/5 000	219/2 500	199/3 500	—	—	200
—	—	—	—	—	244/4 000	242/6 000	264/3 000	257/4 500	241/2 000	—	250
—	—	—	—	—	305/5 000	—	309/3 500	345/6 000	304/2 500	316/4 000	320
—	—	—	—	—	—	—	400/4 500	—	430/3 500	397/5 000	400
—	—	—	—	—	—	—	535/6 000	—	493/4 000	478/6 000	500

Таблица 3-11

Двухходовые теплообменные аппараты типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 400 до 1 400 *мм*

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*										
	400	600		800		1 000		1 200		1 400	
Общее количество трубок, шт.	110	266	110	488	196	792	342	1 152	488	1 596	676
Наружный диаметр трубок, *мм*	25	25	38	25	38	25	38	25	38	25	38
Шаг трубной решетки, *мм* . . .	32	32	48	32	48	32	48	32	48	32	48
Площадь сечения межтрубного пространства, $м^2$	0,072	0,153	0,159	0,263	0,280	0,397	0,400	0,565	0,578	0,758	0,775
Площадь сечения трубного пространства, $м^2$	0,038	0,091	0,100	0,168	0,176	0,272	0,308	0,396	0,439	0,548	0,608

Примечания. 1. Размеры и расположение штуцеров те же, что у одноходовых теплообменных аппаратов (табл. 3-9).
2. Размер *H—l* тот же, что у одноходовых теплообменных аппаратов (см. стр. 91).

Таблица 3-12

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) четырехходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 400 до 600 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*			Условная поверхность теплообмена, *м*²
400	600		
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.			
100	260	104	
7/1 000	—	—	10
11/1 500	—	—	12
15/2 000	—	—	16
19/2 500	—	18/1 500	20
27/3 500	—	24/2 000	25
31/4 000	—	30/2 500	32
39/5 000	38/2 000	42/3 500	40
46/6 000	48/2 500	49/4 000	50
—	58/3 000	61/5 000	65
—	78/4 000	73/6 000	80
—	100/5 000	—	100

Для увеличения поверхности нагрева четырехходовые теплообменные аппараты типа ТН могут быть скомпонованы в блоки (рис. 3-5).

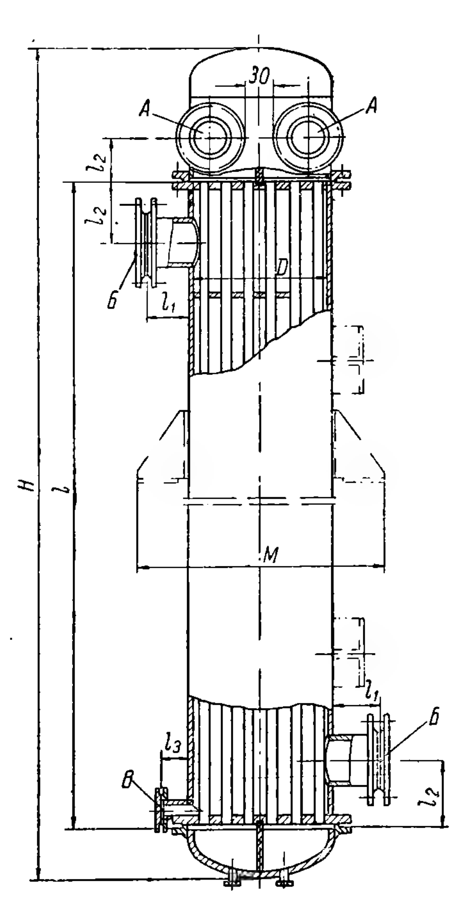


Рис. 3-4. Четырехходовой теплообменный аппарат типа ТН.

Таблица 3-13

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) четырехходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ (рис. 3-4) с диаметрами корпусов от 800 до 1 400 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*								Условная поверхность теплообмена, *м*²
800		1 000		1 200		1 400		
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.								
480	204	788	352	1 136	484	1 572	688	
—	47/2 000	—	—	—	—	—	—	50
—	59/2 500	—	—	—	—	—	—	65
72/2 000	83/3 500	—	—	—	—	—	—	80
90/2 500	95/4 000	—	102/2 500	—	—	—	—	100
128/3 500	120/5 000	—	123/3 000	—	—	—	—	125
165/4 500	—	150/2 500	165/4 000	—	169/3 000	—	—	160
221/6 000	—	212/3 500	207/5 000	216/2 500	198/3 500	—	—	200
—	—	243/4 000	—	260/3 000	256/4 500	—	240/3000	250
—	—	305/5 000	—	305/3 500	343/6 000	—	322/4000	320
—	—	—	—	394/4 500	—	420/3 500	404/5000	400
—	—	—	—	527/6 000	—	545/4 500	486/6000	500

Таблица 3-14

Четырехходовые теплообменные аппараты типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 400 до 1 400 *мм*

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*										
	400	600		800		1 000		1 200		1 400	
Общее количество трубок, шт.	100	260	104	480	204	788	352	1 136	484	1 572	688
Наружный диаметр трубок, *мм*	25	25	38	25	38	25	38	25	38	25	38
Шаг трубной решетки, *мм* . . .	32	32	48	32	48	32	48	32	48	32	48
Площадь сечения межтрубного пространства, $м^2$	0,077	0,156	0,166	0,267	0,270	0,400	0,387	0,575	0,583	0,770	0,762
Площадь сечения трубного пространства, $м^2$	0,034	0,087	0,094	0,165	0,184	0,270	0,317	0,390	0,436	0,540	0,619

Примечания: 1. Размеры и расположение штуцеров те же, что и у одноходовых теплообменных аппаратов (табл. 3-9).

2. Размер $H-l$ тот же, что у одноходовых теплообменных аппаратов (см. стр. 91).

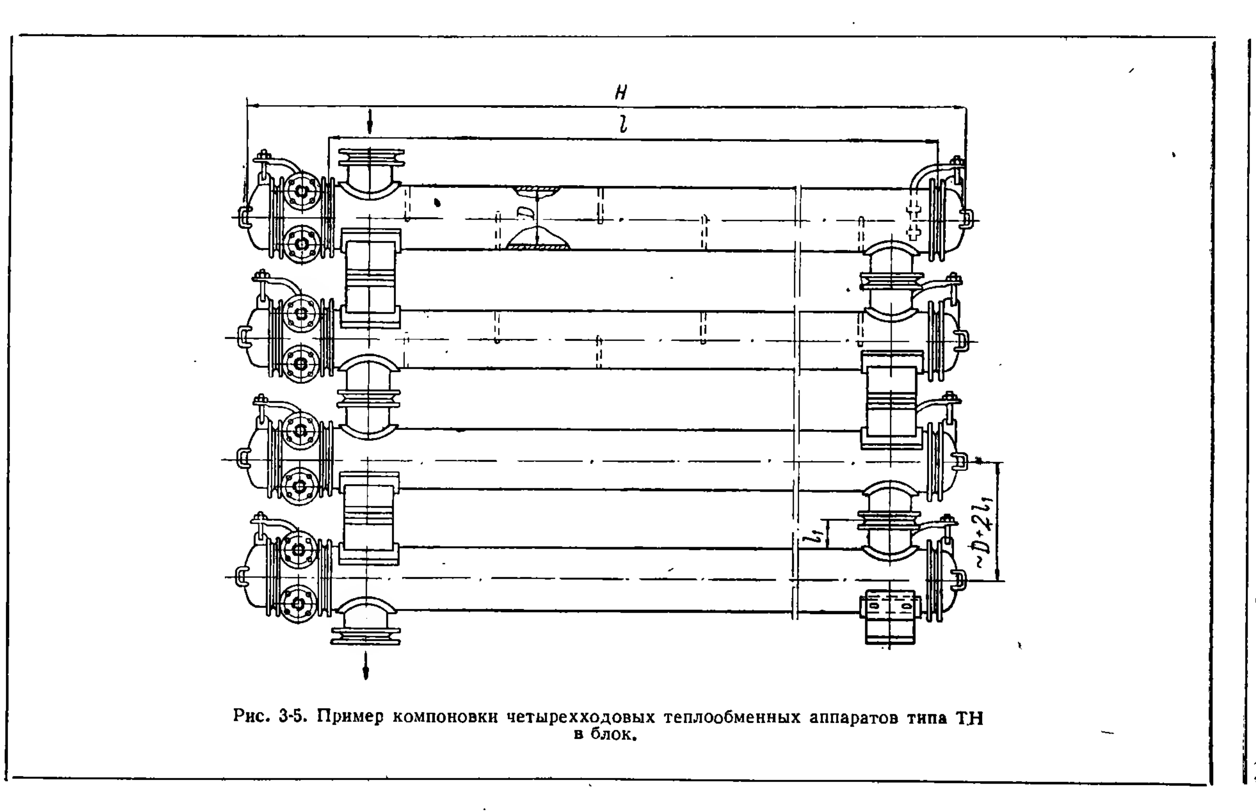
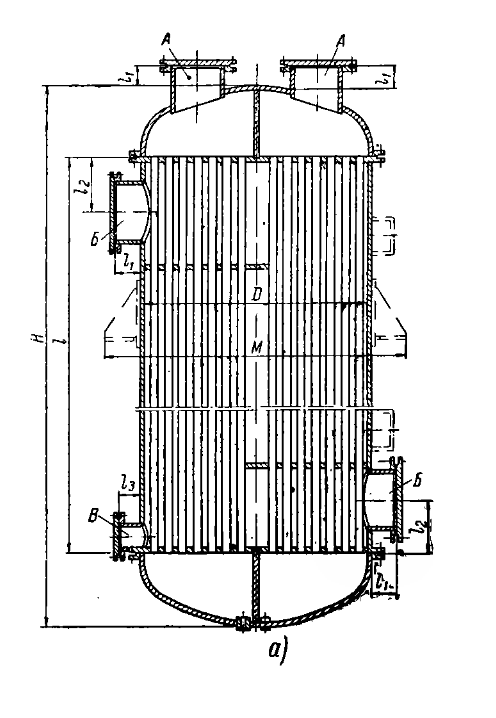


Рис. 3-5. Пример компоновки четырехходовых теплообменных аппаратов типа ТН в блок.



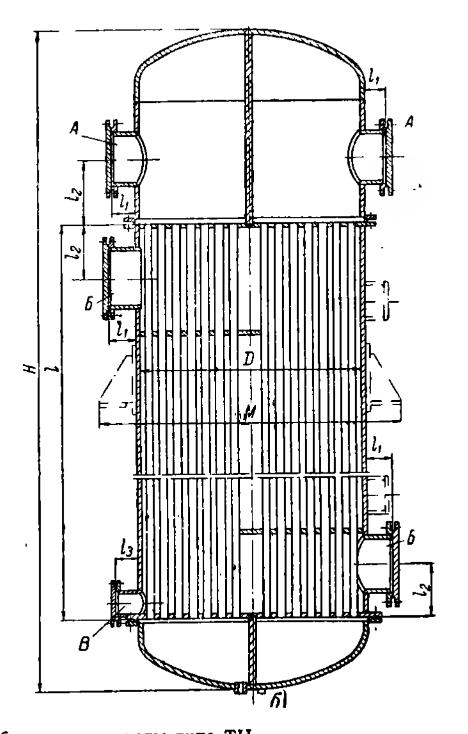


Рис. 3-6. Шестиходовые теплообменные аппараты типа ТН.
а — с двумя эллиптическими крышками; *б* — с одной эллиптической и одной камерной сварной крышками.

Таблица 3-15

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, $м^2$) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) шестиходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ (рис. 3-6) с диаметрами корпусов от 400 до 800 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*					Условная поверхность теплообмена, $м^2$
400	600		800		
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.					
102	258	114	468	204	
7/1 000	—	—	—	—	10
11/1 500	—	—	—	—	12
15/2 000	—	—	—	—	16
19/2 500	—	19/1 500	—	—	20
23/3 000	—	26/2 000	—	—	25
31/4 000	—	33/2 500	—	—	32
39/5 000	39/2 000	40/3 000	—	—	40
47/6 000	49/2 500	47/3 500	—	47/2 000	50
—	59/3 000	60/4 500	—	59/2 500	65
—	79/4 000	81/6 000	—	83/3 500	80
—	100/5 000	—	92/2 500	95/4 000	100
—	—	—	130/3 500	120/5 000	125
—	—	—	168/4 500	—	160
—	—	—	226/6 000	—	200

Таблица 3-16

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, $м^2$) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) шестиходовых теплообменных аппаратов типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 1 000 до 1 400 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*						Условная поверхность теплообмена, $м^2$
1 000		1 200		1 400		
Общее количество трубок в теплообменном аппарате, шт.						
768	336	1 152	510	1 596	684	
—	97/2500	—	—	—	—	100
—	117/3000	—	—	—	—	125
176/3 000	157/4000	—	—	—	—	160
206/3 500	197/5000	—	207/3500	—	—	200
266/4 500	—	263/3000	267/4500	—	238/3000	250
297/5 000	—	308/3500	297/5000	—	319/4000	320
—	—	398/4500	—	428/3500	401/5000	400
—	—	532/6000	—	491/4000	483/6000	500

Таблица 3-17

Шестиходовые теплообменные аппараты типов ТН и ТЛ с диаметрами корпусов от 400 до 1 400 *мм*

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*										
	400	600		800		1 000		1 200		1 400	
Общее количество трубок, шт.	102	258	114	468	204	768	336	1 152	510	1 596	684
Наружный диаметр трубок, *мм*	25	25	38	25	38	25	38	25	38	25	38
Шаг трубной решетки, *мм* . . .	32	32	48	32	48	32	48	32	48	32	48
Площадь сечения межтрубного пространства, $м^2$	0,076	0,157	0,154	0,264	0,270	0,409	0,405	0,565	0,555	0,758	0,767
Площадь сечения трубного пространства $м^2$	0,035	0,088	0,103	0,167	0,184	0,264	0,302	0,396	0,459	0,558	0,616

Примечания: 1. Размеры и расположение штуцеров те же, что и у одноходовых теплообменных аппаратов (табл. 3-9).
2. Размер *H—l* тот же, что у одноходовых теплообменных аппаратов (см. стр. 91).

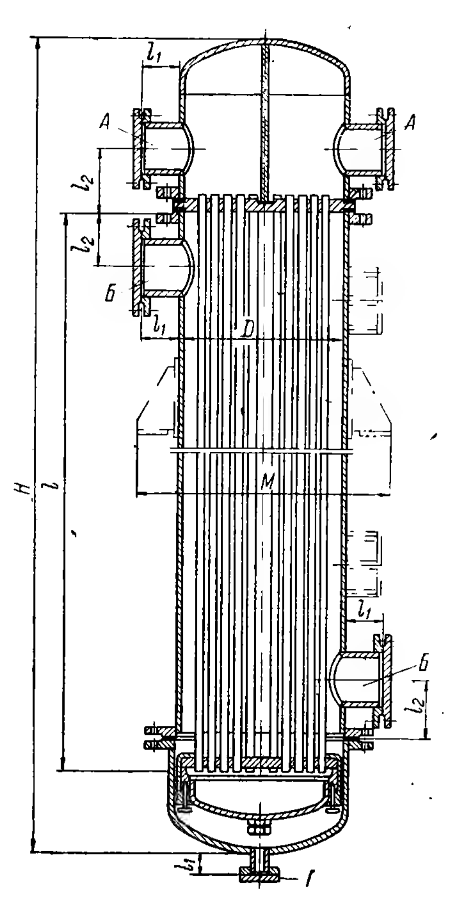


Рис. 3-7. Двухходовой теплообменный аппарат типа ТП.

Таблица 3-18

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, $м^2$) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) двухходовых теплообменных аппаратов типа ТП (рис. 3-7) с диаметрами корпусов от 400 до 800 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*			Условная поверхность теплообмена, $м^2$
400	600	800	
6/1 000	—	—	6
9/1 500	—	—	10
12/2 000	—	—	12
15/2 500	13/1 000	—	16
19/3 000	21/1 500	—	20
25/4 000	—	—	25
31/5 000	28/2 000	—	32
37/6 000	35/2 500	—	40
—	43/3 000	—	50
—	57/4 000	59/2 000	65
—	72/5 000	75/2 500	80
—	86/6 000	90/3 000	100
—	—	121/4 000	125
—	—	152/5 000	160
—	—	182/6 000	200

Примечания: 1. Наружный диаметр трубок 25 *мм*.
2. Шаг разбивки трубной решетки 32 *мм*.

Таблица 3-19

Условные давления, весовые данные, площади сечения межтрубного и трубного пространств двухходовых теплообменных аппаратов типа ТП с диаметрами корпусов от 400 до 800 *мм*

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*								
	400			600			800		
$P_у$, $кГ/см^2$	2,5	6	10	2,5	6	10	2,5	6	10
G_1, *кг*	264	291	393	457	565	730	802	1 015	1 404
G_2, *кг*	120	120	130	255	269	284	522	522	542
G_3, *кг*	101			288			800		
G_4, *кг*	137			316			535		
f_1, $м^2$	0,087			0,192			0,310		
f_2, $м^2$	0,028			0,064			0,135		
n, шт.	80			186			392		

Таблица 3-20

Размеры и расположение штуцеров двухходовых теплообменных аппаратов типа ТП, *мм*

Тип штуцера	Размеры	Диаметр корпуса аппарата, *мм*		
		400	600	800
А	$d_у$	100	150	200
	l_1	140	140	140
	l_2	140	150	175
Б	$d_у$	150	200	250
	l_1	140	140	140
	l_2	175	210	230
В	$d_у$	40	70	80
	l_1	140	140	140

Размер $H - l$ в зависимости от сочетания крышек теплообменных аппаратов типа ТП изменяется в следующих пределах:

Диаметр корпуса аппарата, *мм*	Пределы изменения размера $H-l$, *мм*
400	От 320 до 580
600	От 390 до 710
800	От 490 до 1 250

Таблица 3-21

Расчетная поверхность теплообмена (числитель дроби, *м*²) и длина трубок (знаменатель дроби, *мм*) четырехходовых теплообменных аппаратов типа ТП с диаметрами корпусов от 400 до 800 *мм*

Диаметр корпуса аппарата, *мм*			Условная поверхность теплообмена, *м*²
400	600	800	
6/1 000	—	—	6
9/1 500	—	—	10
12/2 000	13/1 000	—	12
15/2 500	—	—	16
18/3 000	20/1 500	—	20
24/4 000	27/2 000	—	25
30/5 000	33/2 500	—	32
36/6 000	40/3 000	—	40
—	54/4 000	—	50
—	68/5 000	57/2 000	65
—	82/6 000	71/2 500	80
—	—	86/3 000	100
—	—	116/4 000	125
—	—	146/5 000	160
—	—	176/6 000	200

Таблица 3-22

Площади сечения межтрубного и трубного пространств и количество трубок четырехходовых теплообменных аппаратов типа ТП

Условные обозначения и размерности	Диаметр корпуса, *мм*		
	400	600	800
n, шт.	76	176	376
f_1, $м^2$	0,089	0,197	0,318
f_2, $м^2$	0,026	0,061	0,130

Примечания: 1. Размеры и расположение штуцеров, а также весовые данные те же, что у двухходовых теплообменников (табл. 3-19 и табл. 3-20).

2. Наружный диаметр трубок 25 *мм*.

3. Шаг разбивки трубных досок 32 *мм*.

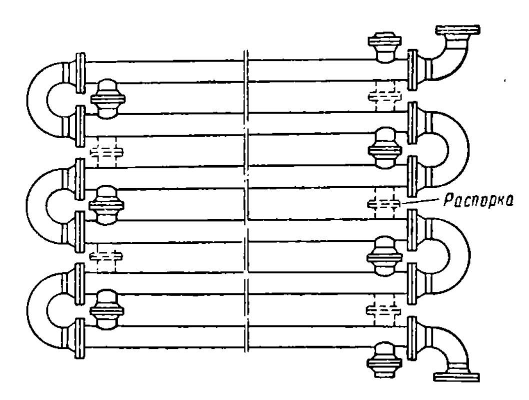


Рис. 3-8. Секция элементного теплообменного аппарата.

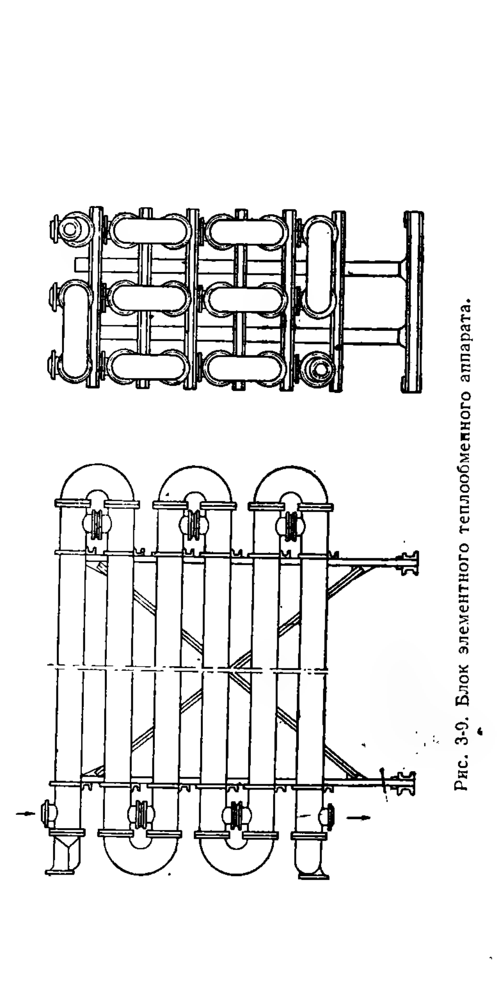


Рис. 3-9. Блок элементного теплообменного аппарата.

Теплообменные аппараты типа ТЭ составляют из одноходовых теплообменных аппаратов типа ТН с диаметрами корпусов 159 и 273 *мм*, взятых без крышек и соединенных в блоки с помощью калачей. На рис. 3-8 и 3-9 приведены примеры компоновок.

3-2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Нормализованные теплообменные аппараты типа «труба в трубе» изготовляют из углеродистых и кислотостойких сталей. Они предназначаются для теплообмена между газами, жидкостями и парами.

Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» изготовляют жесткой конструкции (условно обозначаются ТТ), с сальником на одном конце трубы (условно обозначаются ТТ-с) или с сальниками на обоих концах трубы (ТТ-р). Примеры приведены на рис. 3-10.

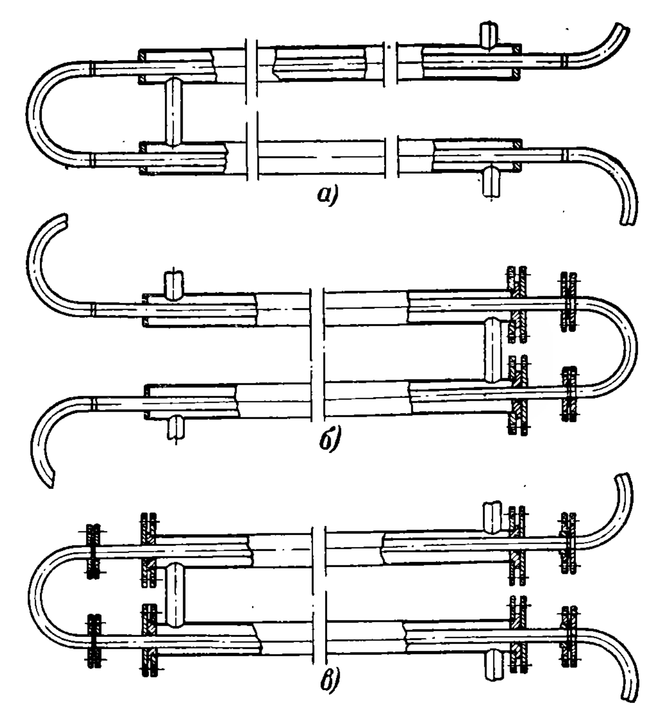


Рис. 3-10. Различные варианты конструкции теплообменного аппарата типа „труба в трубе".

а — конструкция типа ТТ; *б* — конструкция типа ТТ-с; *в* — тип ТТ-р.

Жесткая конструкция применяется в случаях, когда разность температур наружной и внутренней труб невелика и когда не требуется механическая чистка труб. Теплообменные аппараты типа ТТ-с применяются в случаях, когда необходима компенсация температурных расширений. Теплообменные аппараты типа ТТ-р применяются в случаях, когда при эксплуатации теплообменника требуется полный демонтаж внутренних труб.

Теплообменные аппараты с различной поверхностью теплообмена получают путем последовательного или параллельного соединения нормализованных элементов в секции. Промышленность выпускает элементы ТТ38 и ТТ76. Основные параметры этих элементов приведены в табл. 3-23.

Таблица 3-23

Элементы теплообменных аппаратов типа „труба в трубе“

Обозначение элемента	Диаметр наружных труб, *мм*	Диаметр внутренних труб, *мм*	Поперечное сечение внутренних труб, $м^2$	Поперечное сечение кольцевого пространства, $м^2$	Длина *l*, *мм*	Поверхность теплообмена, $м^2$
ТТ38	76×4	38×2,5	0,000855	0,00261	3 000 или 6 000	0,358 или 0,716
ТТ76	108×4	76×4	0,00364	0,00322	3 000 или 6 000	0,716 или 1,432

Таблица 3-24

Допускаемые давления для элементов типов ТТ38 и ТТ76 в зависимости от температуры

Условное давление, $кГ/см^2$	Температурная ступень	
	I (0—120° С)	II (121—300° С)
	Рабочее давление, $кГ/см^2$	
До 6	6	5
10	10	8
16	16	13
25	25	20
40	40	32
64	64	50

Теплообменные аппараты

Номинальная поверхность теплообмена, $м^2$	Длина труб, $м$	Тип ТТ-38								
		Действительная поверхн. теплообмена, $м^2$	Количество		Габаритные размеры[1], $мм$				Ориентировочный вес труб, $кг$
			элементов	секций	L	H	h	B	
1,0	3	1,1	3	1	3 500	400	200	—	100
	6	0,7	1	1	6 500	—	—	—	60
1,5	3	1,8	5	1	3 500	800	200	—	170
	6	1,4	2	1	6 500	200	200	—	125
2,5	3	2,5	7	1	3 500	1 200	200	—	240
	6	2,1	3	1	6 500	400	200	—	190
	3	5,0	14	1	3 500	2 600	200	—	470
4,0	3	5,0	14	2	3 500	1 200	200	300	410
	6	3,6	5	1	6 500	800	200	—	310
6,0	3	7,5	21	3	3 500	1 200	200	400	710
	6	5,0	7	1	6 500	1 200	200	—	430
	3	10,0	28	2	3 500	2 600	200	300	940
10,0	6	10,0	14	1	6 500	2 600	200	—	870
	6	10,0	14	2	6 500	2 600	200	300	870
15,0	3	15,0	42	3	3 500	2 600	200	400	1 415
	6	15,0	21	3	6 500	1 200	200	400	1 290
20,0	6	20,0	28	2	6 500	2 600	200	300	1 730
30,0	6	30,0	42	3	6 500	2 600	200	400	2 600

[1]) L—длина теплообменного аппарата;
H—высота секции;
h—расстояние между двумя элементами секции;
B—расстояние между соседними секциями.

Таблица 3-25

типа „труба в трубе“

Номинальная поверхность теплообмена, $м^2$	Длина труб, *м*	Действительная поверхность теплообмена, $м^2$	Тип ТТ-76							
			Количество		Габаритные размеры[1]), *мм*				Ориентировочный вес труб, *кг*
			элементов	секций	*L*	*H*	*h*	*B*	
1,0	3	0,76	1	1	3 700	—	340	—	60
	3	1,4	2	1	3 700	340	—	—	130
1,5	6	1,4	1	1	6 700	—	340	—	110
2,5	3	2,8	4	1	3 700	1 020	340	—	260
	6	2,8	2	1	6 700	340	340	—	230
4,0	3	4,3	6	1	3 700	1 700	340	—	390
	6	4,3	3	1	6 700	680	340	—	350
6,0	3	6,4	9	1	3 700	3 060	340	—	590
	6	5,7	4	1	6 700	1 020	340	—	470
10,0	3	8,6	12	1	3 700	3 740	340	—	790
	3	8,6	12	2	3 700	1 700	340	300	790
	6	8,6	6	1	6 700	1 700	340	—	710
15,0	3	17,2	24	2	3 700	3 740	340	300	1 580
	6	17,2	12	1	6 700	3 740	340	—	1 420
	6	17,2	12	2	6 700	1 700	340	300	1 420
20,0	3	25,8	36	3	3 700	3 740	340	400	2 370
	6	25,8	18	2	6 700	3 060	340	300	2 120
30,0	6	34,4	24	2	6 700	3 740	340	300	2 830

3-3. СПИРАЛЬНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Основным узлом нормализованных спиральных теплообменных аппаратов, предназначенных для теплообмена между жидкостями, является корпус спирали, выполняемый из углеродистой стали. Стандартный элемент корпуса спирали имеет поверхность теплообмена 15 или 30 $м^2$.

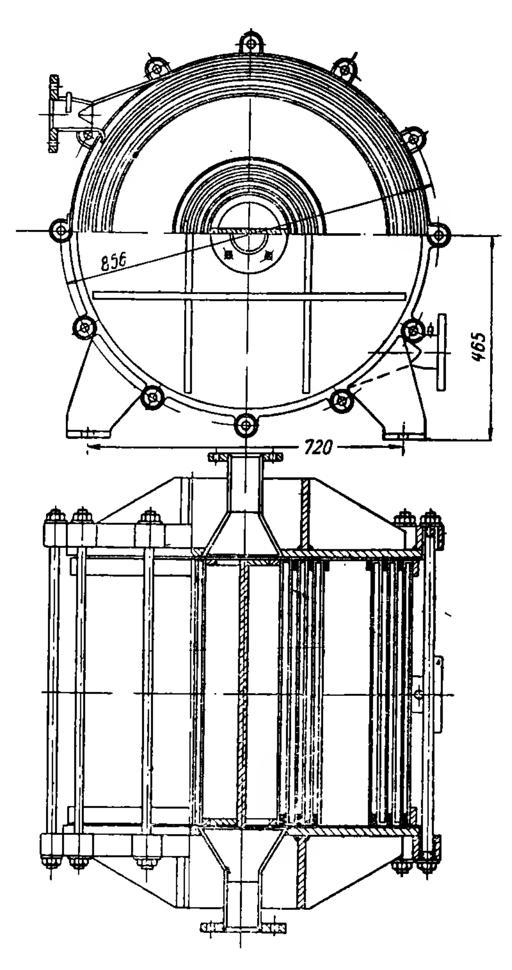


Рис. 3-11. Теплообменный аппарат типа СТО.

Путем сопряжения корпусов спиралей между собой получаются аппараты типов СТО (спиральный теплообменник одинарный), СТС (спиральный теплообменник секционный), СТБ (спиральный теплообменник блочный). Конструкция теплообменного аппарата типа СТО показана на рис. 3-11.

Таблица 3-26

Спиральные теплообменные аппараты

Тип	Параметры		
	Ширина спирали *a, мм*	$P_у$, *кГ/см²*	Поверхность теплообмена *F, м²*
СТО	375	5	15
	750	2,5	30
СТС	375	5	30
	750	2,5	60
СТБ	375	5	30×*n**
	750	2,5	60×*n*

* *n*—число секций в блоке.

3-4. ЗМЕЕВИКОВЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Теплообменные аппараты змеевикового типа применяют в качестве конденсаторов, дефлегматоров, холодильников, подогревателей и т. д. В зависимости от назначения, свойств и параметров теплоносителей они имеют различные конструкции. Ниже приведены некоторые змеевиковые аппараты, выпускаемые промышленностью по индивидуальным заказам.

На рис. 3-12 показан холодильник емкостью 400 *л* с поверхностью нагрева 2,5 *м²*. Змеевик изготовлен из стальной трубы диаметром 26×2,5 *мм*, его длина 34,8 *м*. На рис. 3-14 представлены конструкция аппарата, предназначенного для охлаждения нейтральных жидкостей и газов, протекающих по змеевику. Охлаждающая вода протекает в межтрубном пространстве. Техническая характеристика аппарата дана в табл. 3-27.

Конструкция кожухотрубчатого змеевикового теплообменного аппарата, предназначенного для работы под высоким давлением, представлена на рис. 3-15. Аппарат представляет собой трубный пучок из 14 трубок, укрепленных в трубных досках и заключенных в кожух змеевика. Рабочее давление: в трубках 30 *ати*, в межтрубном пространстве 16 *ати*. Аппарат изготавливается с двумя, тремя и четырьмя змеевиками. Вес аппарата с двумя змеевиками без изоляции 2 750 *кг*.

На рис. 3-16 показана конструкция змеевикового свинцового холодильника. Аппарат предназначен для охлаждения серной кислоты. Давление в змеевиках до 0,25 *ати*, температура кислоты 150—70° С. Вес аппарата 28 350 *кг*, в том числе вес свинца 18 930 *кг*.

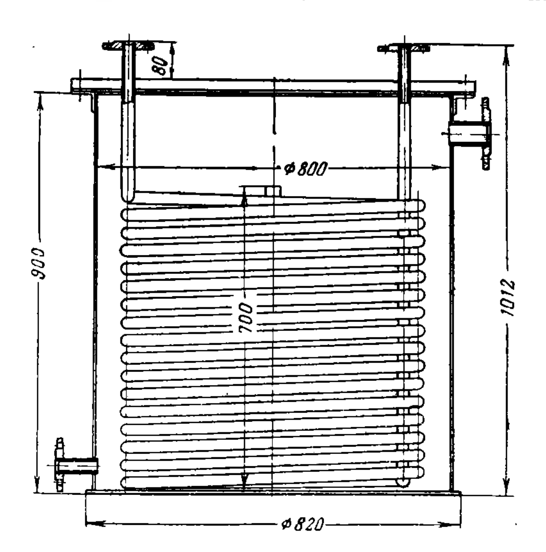


Рис. 3-12. Холодильник емкостью 400 л.

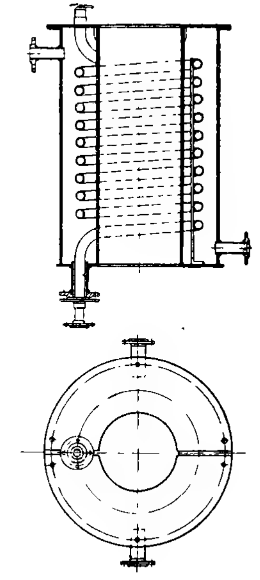


Рис. 3-13. Холодильник для охлаждения жидкостей и газов.

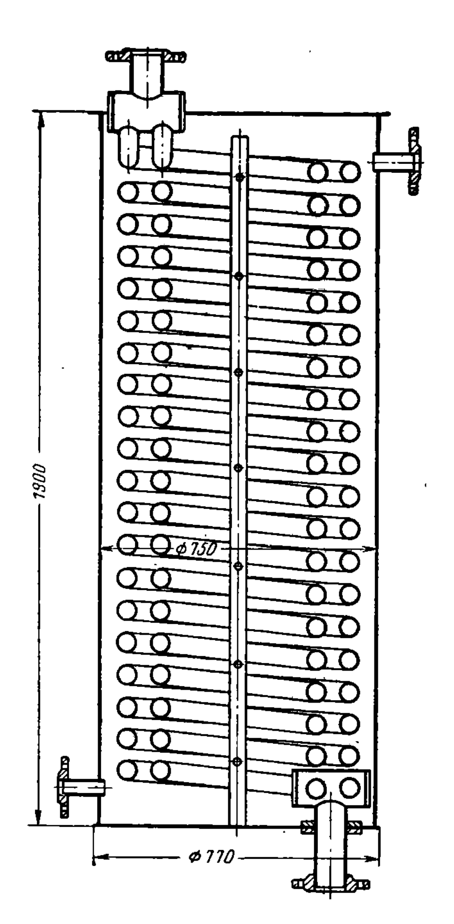


Рис. 3-14. Конденсатор с поверхностью теплообмена 11,2 $м^2$. Змеевики изготовлены из стальных труб диаметром 57×2,5 *мм* с длинами соответственно 25,9 и 36,9 *м*. Давление в аппарате атмосферное.

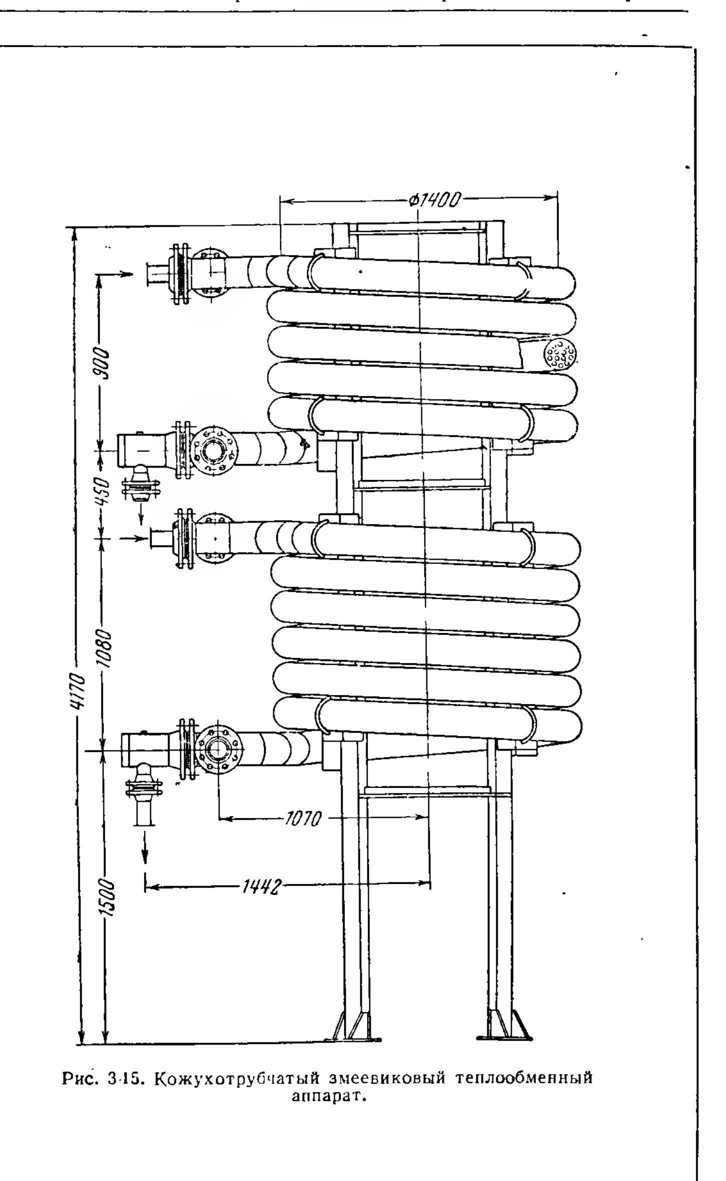
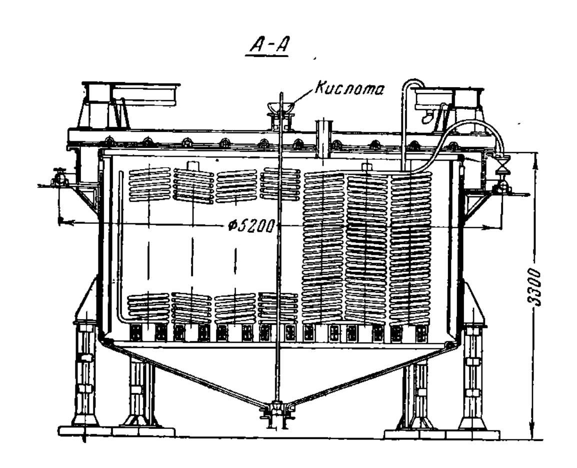


Рис. 3·15. Кожухотрубчатый змеевиковый теплообменный аппарат.



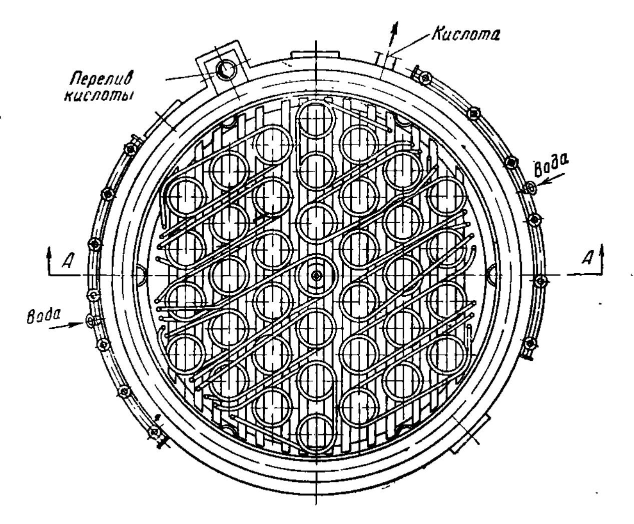


Рис. 3-16. Свинцовый холодильник с поверхностью теплообмена 210 $м^2$.

Таблица 3-27

Змеевиковые охладители

Поверхность теплообмена, $м^2$	Змеевик из труб						Наружная обечайка	
	Диаметр змеевика, *мм*	Шаг, *мм*	Количество витков, шт.	Диаметр и толщина стенки трубки, *мм*	Полная длина, *м*	Вес, *кг*	Диаметр, *мм*	Высота, *мм*
1	350	50	10	32×2,5	11,4	20,7	450	704,5
2	500	50	14	32×2,5	22,4	40,7	600	904,5
3	600	50	17	32×2,5	32,4	59	700	1 048,5
5	750	50	23	32×2,5	54,4	99	850	1 298
7	850	65	20	44,5×2,5	53,8	139	1 000	1 542
10	1 000	65	24	44,5×2,5	75,5	195	1 150	1 792
13	1 150	65	27	44,5×2,5	98,5	255	1 300	1 992
15	1 200	65	301	44,5×2,5	113,5	294	1 350	2 192

Продолж. табл. 3-27

Поверхность теплообмена, $м^2$	Наружная обечайка		Внутренняя обечайка				Емкость теплообменного аппарата, *л*	Общий вес аппарата, *кг*
	Толщина, *мм*	Вес, *кг*	Диаметр, *мм*	Высота, *мм*	Толщина, *мм*	Вес, *кг*		
1	4	31,5	250	746	4	18,2	72	97
2	4	54	400	946	4	37	135	165
3	5	91	500	1 095	5	67	181	262
5	5	137	650	1 345	5	106	272	399
7	6	230	700	1 594	6	163	554	618
10	6	306	850	1 844	6	230	755	833
13	6	386	1 000	2 044	6	300	957	1 059
15	6	440	1 050	2 244	6	348	1 080	1 214

3-5. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Большинство теплообменных аппаратов, применяемых в настоящее время в химической промышленности, не нормализованы. Таких аппаратов, естественно, очень много. Здесь приводятся некоторые из них.

На рис. 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21 показаны конструкции теплообменных аппаратов с плавающей головкой, устройство которых сильно отличается от нормализованных теплообменников типа ТП.

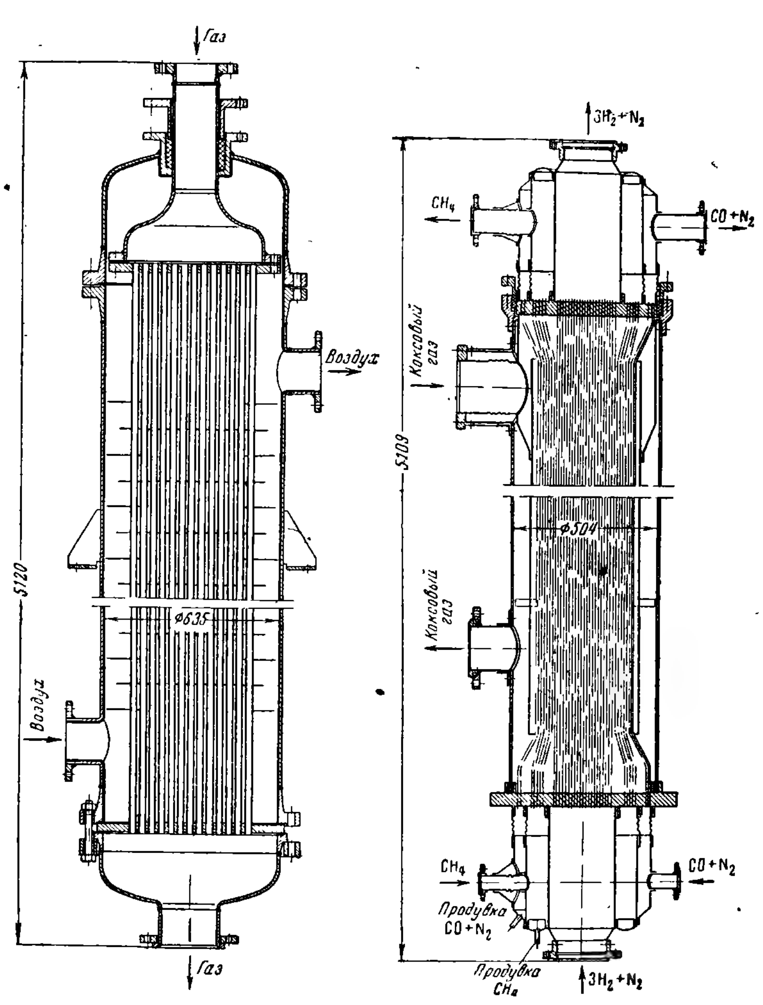


Рис. 3-17. Вертикальный теплообменный аппарат с плавающей головкой из стали 1Х18Н9Т.

Рис. 3-18. Трехсекционный медный теплообменный аппарат с плавающей головкой.

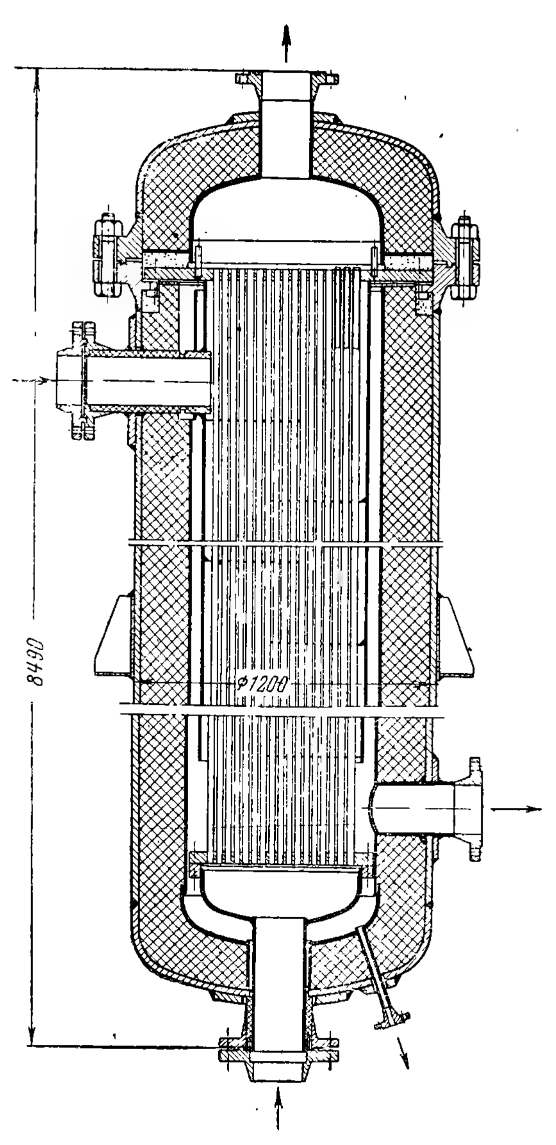


Рис. 3-19. Вертикальный теплообменный аппарат с плавающей головкой из стали 15ХФ.

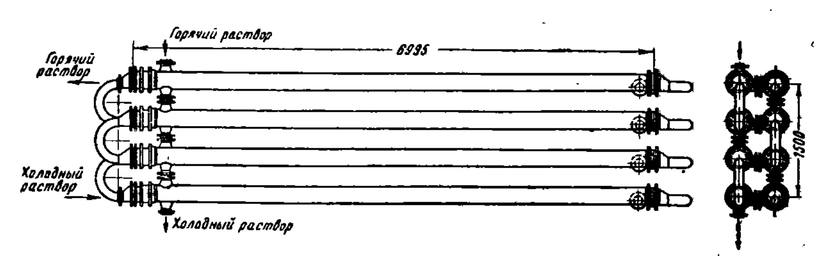


Рис. 3-20. Алюминиевый элементный теплообменный аппарат с плавающей головкой.

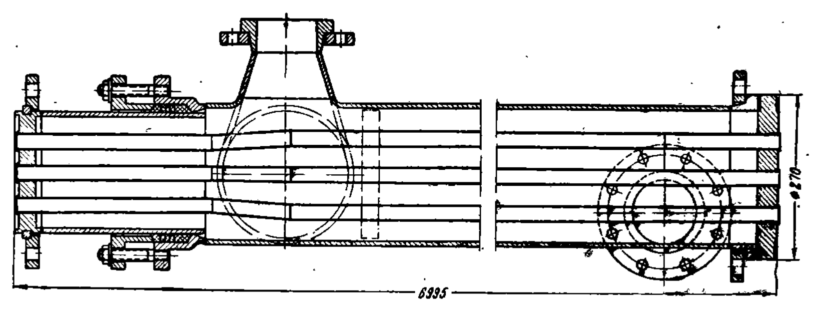


Рис. 3-21. Элемент аппарата, представленного на рис. 3-20.

На рис. 3-17 показан вертикальный теплообменный аппарат с плавающей головкой. Аппарат имеет поверхность нагрева 42 *м²* и предназначен для нагрева воздуха теплом нитрозных газов. Корпус аппарата и верхняя крышка изготовлены из углеродистой стали и покрыты изнутри листовым алюминием толщиной 1 *мм*, трубчатая поверхность нагрева и нижняя крышка изготовлены из стали IX18H9T. Рабочее давление в трубном и в межтрубном пространстве 7 *ати*. Температура газа на входе 400° С, температура воздуха — на входе 140° С, на выходе 350° С. Вес аппарата 1 920 *кг*.

На рис. 3-18 показан аппарат, предназначенный для охлаждения коксового газа и выделения из него в межтрубном пространстве метановой фракции путем теплообмена с азото-водородной смесью, метаном и азото-окисьуглеродной смесью, находящимися в трубах. Поверхности теплообмена:

по CH_4 ... 43 *м²*

по $3H_2 + N_2$ ... 33 *м²*

по $CO + N_2$ ... 18 *м²*.

Параметры теплоносителей приведены в табл. 3-28. Все части аппарата, соприкасающиеся с коксовым газом и метаном,— луженые. Вес аппарата 1 910 *кг*, в том числе вес меди 1 490 *кг*.

Таблица 3-28

Параметры теплоносителей трехсекционного медного теплообменного аппарата (рис. 3-19)

Теплоноситель	Давление, *ати*		Температура, °С	
	Трубное пространство	Межтрубное пространство	на входе	на выходе
$3H_2 + N_2$ . . .	12	—	190	160
CH_4	0,8	—	170	160
$CO + N_2$ . . .	0,8	—	193	160
Коксовый газ	—	12	145	175

На рис. 3-19 показан теплообменный аппарат с плавающей головкой поверхностью нагрева 130 $м^2$, имеющий внутреннюю изоляцию из диатомового кирпича. Аппарат предназначен для теплообмена между газами. Трубчатая поверхность теплообмена выполнена из стали 15ХФ. Аппарат рассчитан на рабочее давление 15 *ати* в обеих полостях. Температура «горячего» газа на входе 430° С, на выходе 340° С. Вес аппарата 15 180 *кг*, в том числе хромованадиевой стали 15ХФ — 8 060 *кг*.

На рис. 3-20 показана компоновка элементного алюминиевого теплообменного аппарата с поверхностью нагрева 128 $м^2$, а на рис. 3-21 приведен чертеж одного элемента, представляющего собой теплообменный аппарат с плавающей головкой. На рис. 3-22 показан конденсатор с плавающей головкой. Поверхность нагрева 144 $м^2$.

Пример компенсации термического удлинения труб теплообменного аппарата путем устройства сальников у труб дан на рис. 3-23, где изображен вертикальный теплообменник из стали 1Х18Н9Т с поверхностью нагрева 15 $м^2$. Он предназначен для подогрева воздуха теплом горячих нитрозных газов. Рабочее давление в аппарате 6 *ати*, температура горячего газа на входе 800° С, температура воздуха в аппарате изменяется от 50 до 350° С.

На рис. 3-24 приведен вертикальный оросительный конденсатор с поверхностью нагрева 21 $м^2$. Аппарат предназначен для частичной конденсации паров водоаммиачной смеси. Давление в межтрубном пространстве 16 *ати*.

Для охлаждения сжатого воздуха может быть применен теплообменный аппарат, изображенный на рис. 3-25. Его поверхность теплообмена изготовлена из оребренных латунных трубок, площадью 320 $м^2$. Рабочее давление в трубном пространстве 3 *ати*, в межтрубном — 4,5 *ати*. Вес аппарата 2 900 *кг*.

На рис. 3-26 показан стальной эмалированный теплообменный аппарат, предназначенный для конденсации паров и охлаждения жидкостей и газов. Рабочее давление в охлаждающих стаканах и в аппарате 2 *ати*. Температура горячего теплоносителя на входе — до 120° С. Аппараты изготавливают с поверхностью нагрева 4 или 8 $м^2$.

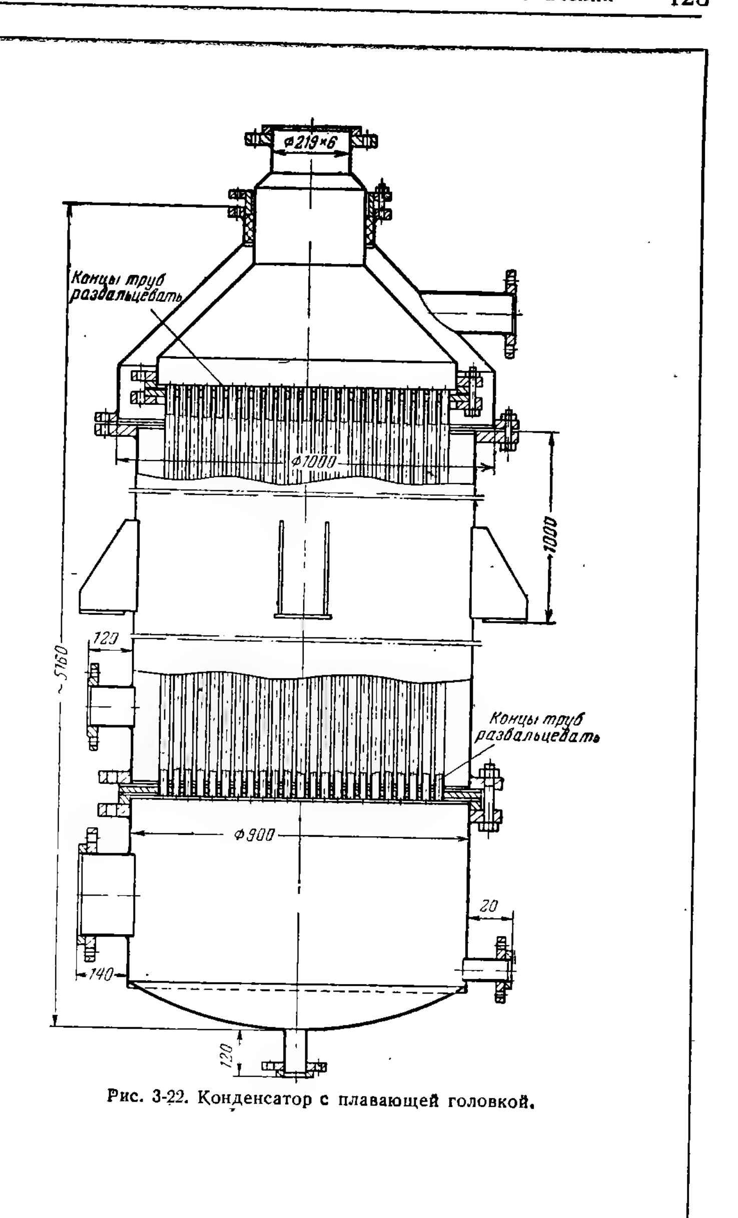


Рис. 3-22. Конденсатор с плавающей головкой.

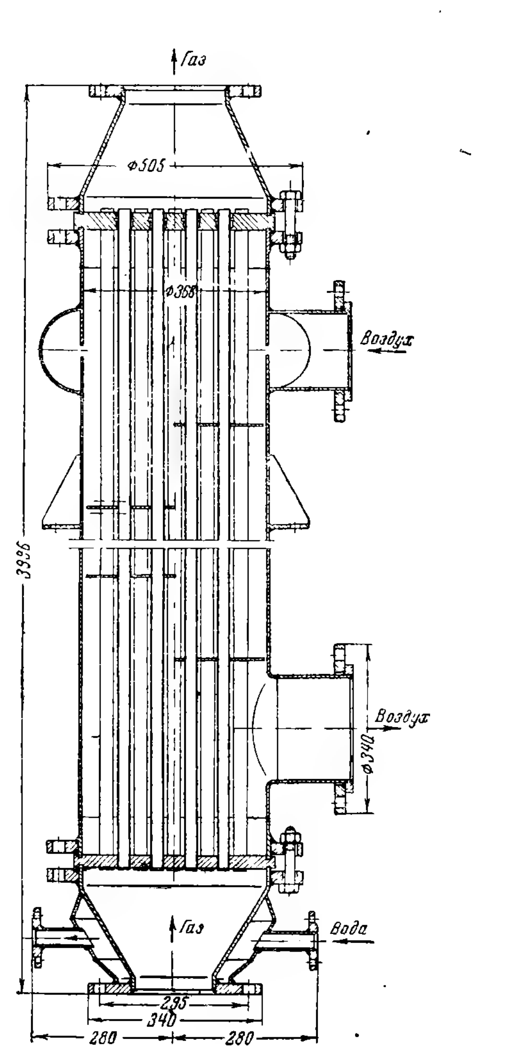


Рис. 3-23. Вертикальный теплообменный аппарат с сальниками у труб.

Рис. 3-25. Водо-воздушный теплообменный аппарат с оребренными трубками.

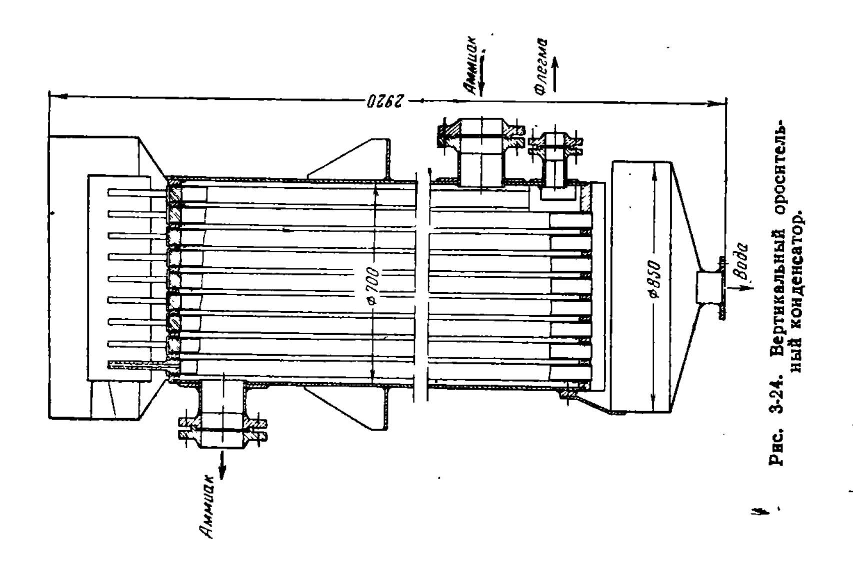


Рис. 3-24. Вертикальный оросительный конденсатор.

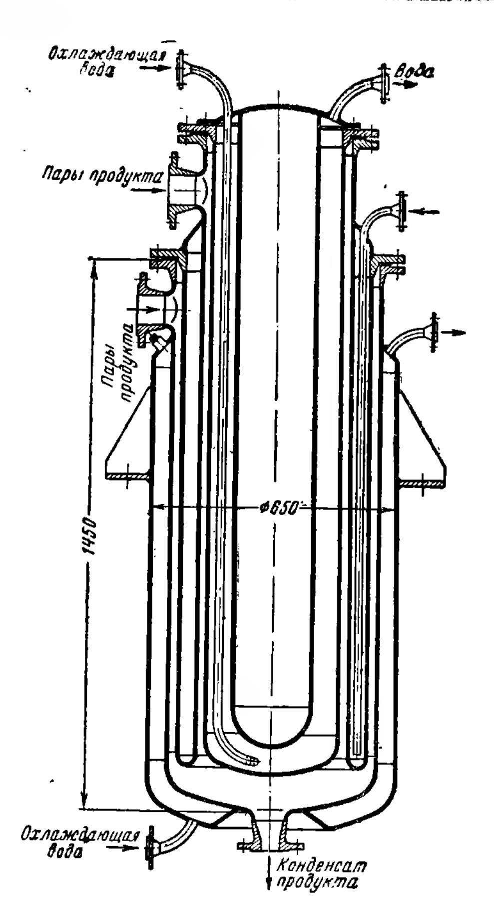


Рис. 3-26. Стальной эмалированный теплообменный аппарат.

На рис. 3-27 изображен эмалированный реактор рубашечного типа, предназначенный для работы с агрессивной средой. Аппарат обогревается паром, подаваемым в паровую рубашку, и снабжен мешалкой якорного или петлевого типа. Все части реактора, соприкасающиеся с агрессивной средой, покрыты кислотоупорной эмалью. Для увеличения интенсивности процесса теплообмена аппарат имеет мешалку. Реакторы емкостью более 500 *л* снабжаются индивидуальными приводами типа РКЦ. Техническая характеристика реактора дана в табл. 3-29.

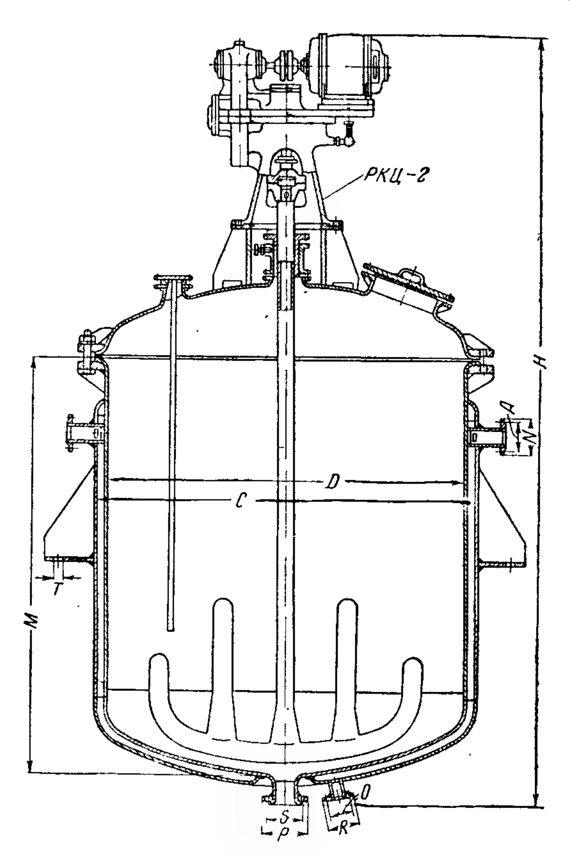


Рис. 3-27. Эмалированный реактор с якорной мешалкой.

На рис. 3-28 представлена конструкция стального реактора рубашечного типа, изготавливаемого из нержавеющей стали и работающего под вакуумом. Аппарат имеет емкость 1 $м^3$ и снабжен пропеллерной мешалкой с приводом от редуктора типа РКЦ-1. Допустимое давление греющего пара — до 5 *ати*.

Конструкция реактора со змеевиковым обогревом приведеиа на рис. 3-29. Корпус аппарата изготавливается из стали с футеровкой внутренней поверхности диабазовыми плитками. Реактор снабжен свинцовым змеевиком и освинцованной пропеллерной мешалкой. Емкость аппарата 2 $м^3$, допустимое давление 3 *ати*.

На рис. 3-30 представлены некоторые из разработанных к настоящему времени конструкций теплообменных аппаратов, изготовляемых с применением графита.

Таблица 3-29

Реакторы (рис. 3-27)

Емкость, л	Допускаемое давление, *ати*		Размеры, *мм*											Вес, *кг*
	в аппарате	в рубашке	*D*	*M*	*C*	*H*	*T*	*A*	*N*	*O*	*R*	*S*	*P*	
40	3	6	400	400	530	888	23	75	100	55	80	—	—	145
100	3	6	500	675	630	1 150	22	65	90	65	90	—	—	210
500	3	3	850	1 088	1 000	2 380	26	100	130	90	120	130	160	810
1 000	3	3	1 100	1 354	1 270	2 800	30	110	140	75	100	130	160	1 440
1 500	3	3	1 300	1 450	1 480	3 000	30	110	140	75	100	150	190	1 880
3 000	3	3	1 600	1 750	1 800	3 330	34	130	160	—	140	—	210	2 980

Таблица 3-30

Эмалированные выпарные чаши (рис. 3-31)

Емкость, л	Давление пара, *ати*	Размеры, *мм*												Вес, *кг*
		А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*З*	*И*	*К*	d_1	d_2	
12	6	470	360	155	215	240	18	80	130	80	55	80	55	30
25	6	610	500	170	230	275	18	80	180	80	55	80	55	45
100	5	980	800	270	355	380	22	100	310	90	65	80	55	220

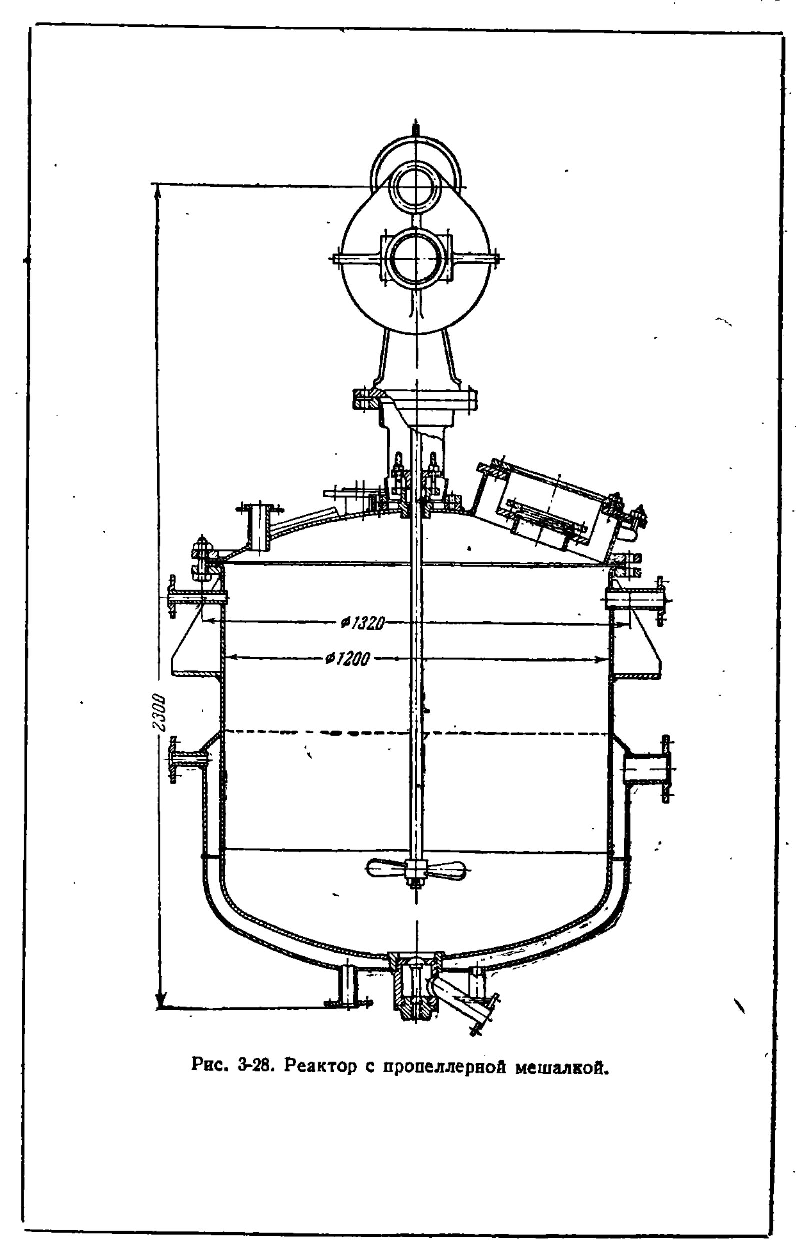


Рис. 3-28. Реактор с пропеллерной мешалкой.



Рис. 3-29. Реактор со змеевиковым обогревом.

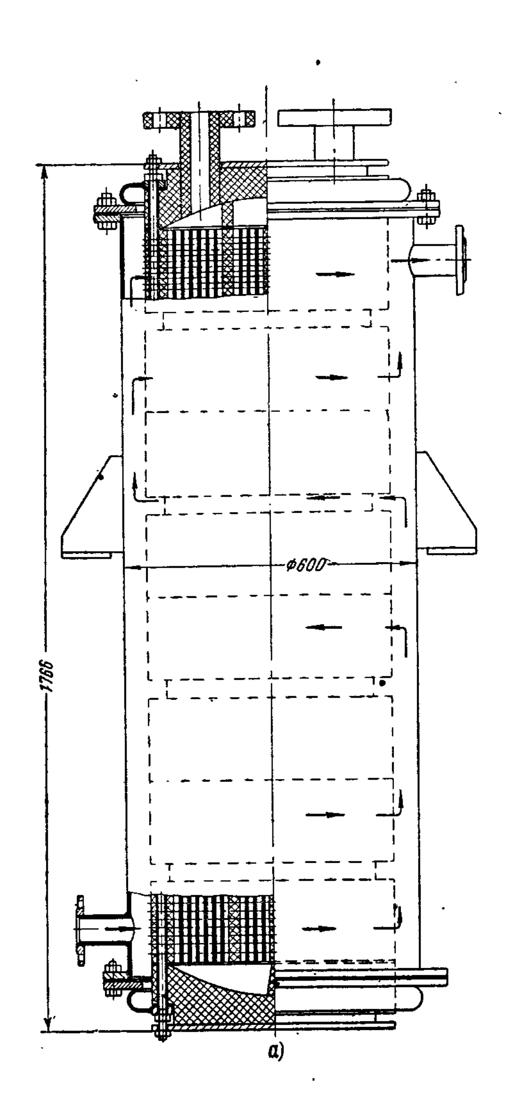
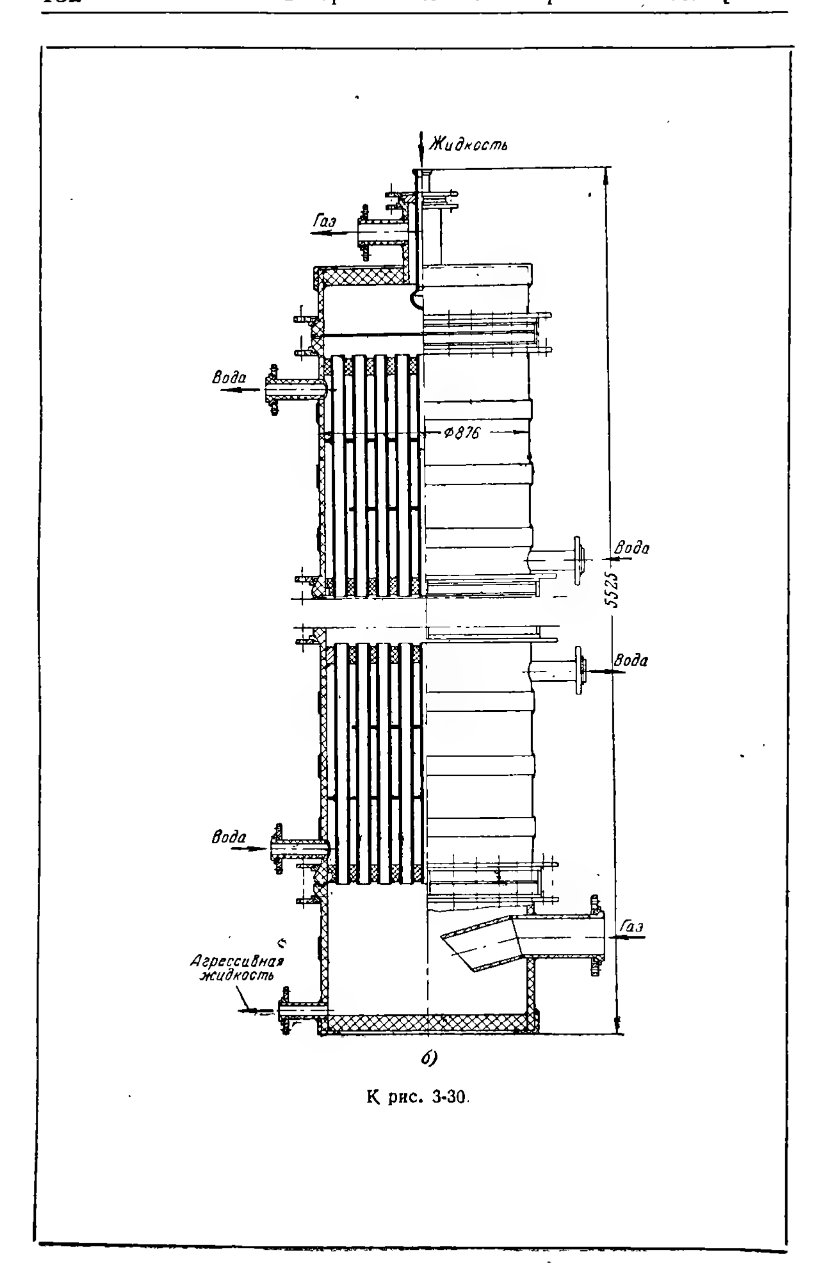


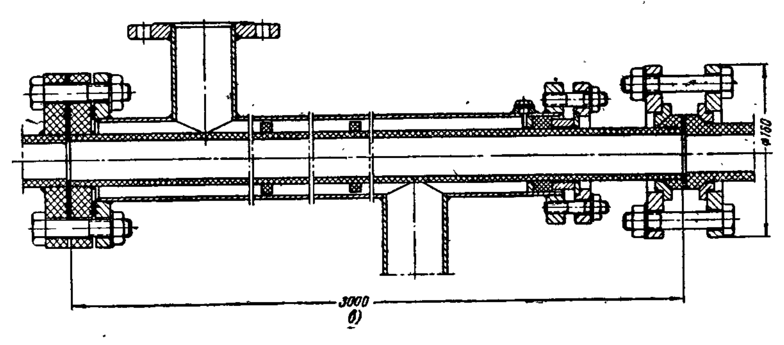
Рис. 3-30. Конструкции графитовых теплообменных аппаратов.

а — блочного типа с поверхностью нагрева 11 $м^2$; *б* — кожухотрубчатый с падающей пленкой и поверхностью нагрева 30 $м^2$; *в* — водо-кислотный типа „труба в трубе"; поверхность нагрева 10 $м^2$; *г* — погружной ребристого типа; поверхность нагрева 10,5 $м^2$.

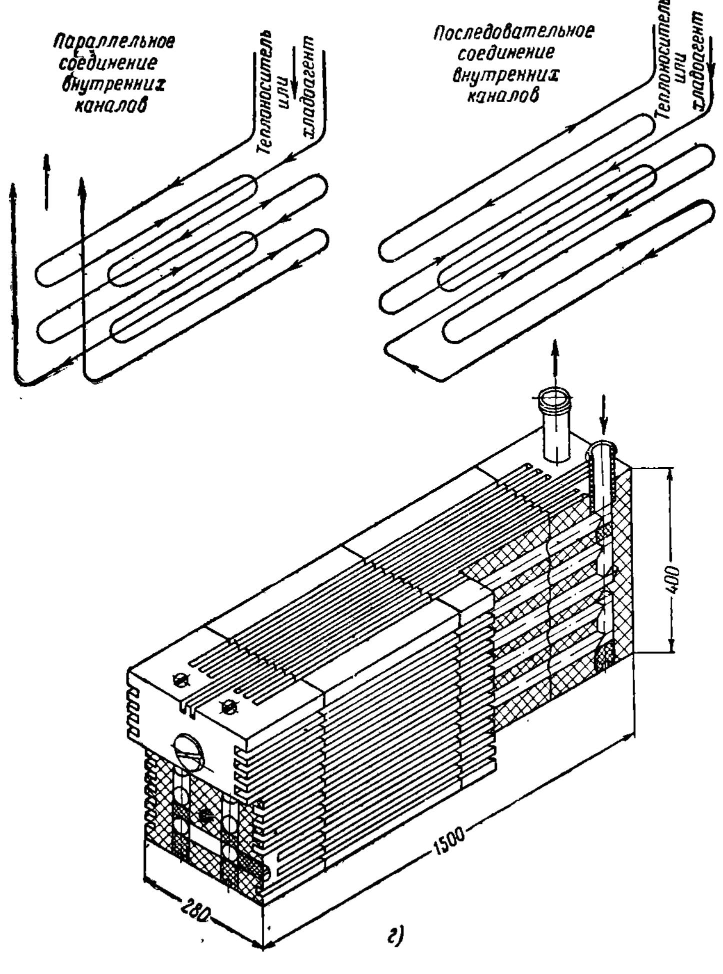

Жидкость
Газ
Вода
Ф876
Вода
5525
Вода
Вода
Газ
Агрессивная жидкость
б)

К рис. 3-30.

2530
Кислота
Кислота
Кислота
Кислота
2500
Вода
Кислота
Вода
в)



К рис. 3-30.


Параллельное соединение внутренних каналов
Теплоноситель или хладоагент
Последовательное соединение внутренних каналов
Теплоноситель или хладоагент
400
1500
280
г)

К рис. 3-30.

3-6. ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ

Выпарные аппараты предназначены для сгущения растворов различных веществ путем удаления из раствора растворителя, превращенного в пар. Выбор конструкции выпарного аппарата определяется свойствами упариваемого раствора.

Одним из самых простых выпарных аппаратов, который тем не менее имеет широкое распространение в промышленности и выпускается заводами серийно, является эмалированная выпарная чаша,

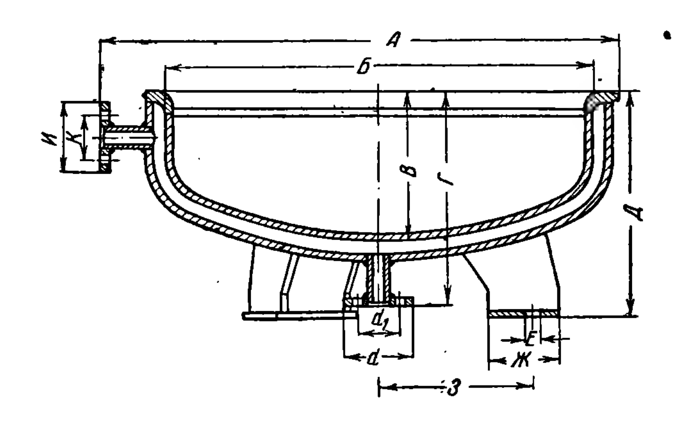


Рис. 3-31. Эмалированная выпарная чаша.

снабженная паровой рубашкой и предназначенная для упарки кислых растворов. Конструкция ее изображена на рис. 3-31, а характеристики приведены в табл. 3-30.

Выпарные аппараты более совершенных типов изготавливают, как правило, по индивидуальным заказам, причем нормализованы лишь некоторые типы выпарных аппаратов. Примером выпарных аппаратов, на которые распространяется действие нормали НМП 4-198-48, являются выпарные аппараты типа ВВ с внутренней камерой и типа ВН с вынесенной греющей камерой.

Конструкция аппарата типа ВВ показана на рис. 3-32, а аппарата типа ВН — на рис. 3-33. Технические характеристики этих аппаратов приведены в таблицах 3-31, 3-32, 3-33 и 3-34.

Разбивка трубных решеток производится по равностороннему треугольнику с шагом 48 *мм* для трубок с наружным диаметром 38 *мм* и с шагом 70 *мм* для трубок с наружным диаметром 57 *мм*. Пример условного обозначения выпарного аппарата типа ВВ с номинальной поверхностью нагрева 100 *мм*^{2} и с трубками наружным диаметром 38 *мм* и длиной 3 500 *мм* для работы под вакуумом 0,14 *ата*: выпарной аппарат ВВ $\frac{38\times 3\,500}{0,14}$ 100НМП4-198-48.

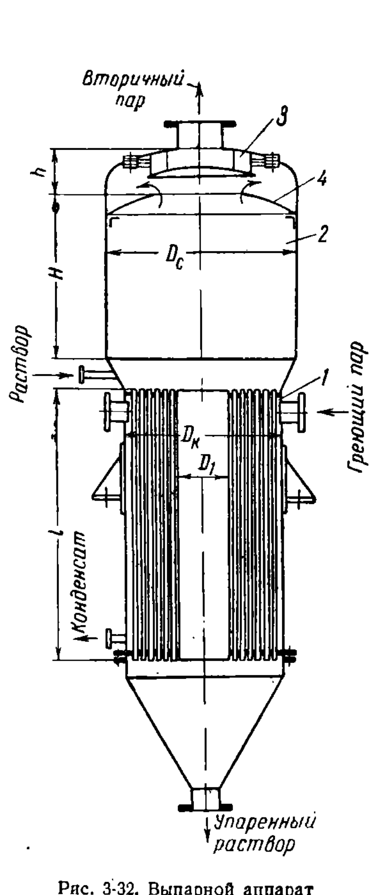


Рис. 3-32. Выпарной аппарат типа ВВ.

1 — греющая камера; 2 — сепаратор; 3 — съемная ловушка; 4 — каплеотбойник.

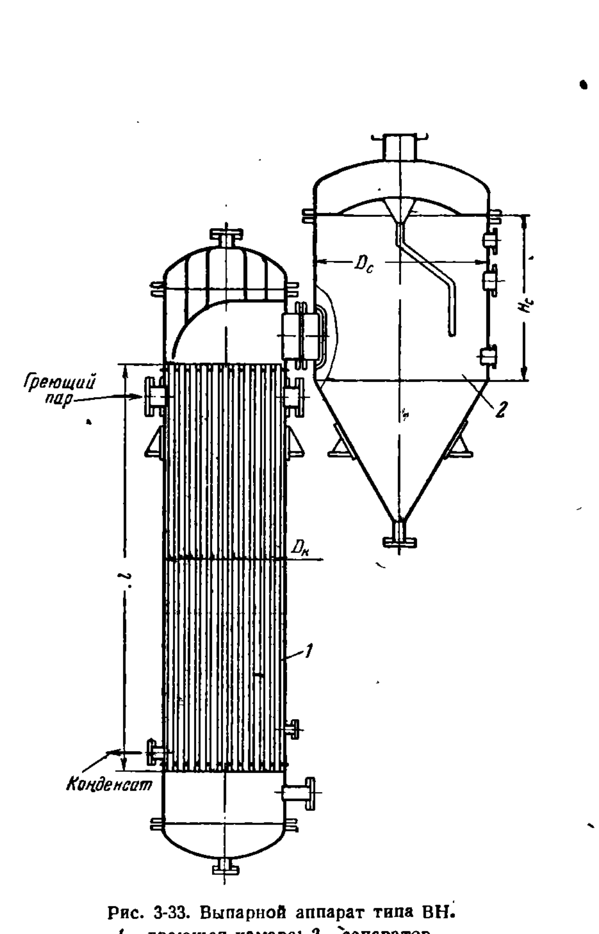


Рис. 3-33. Выпарной аппарат типа ВН.
1 — греющая камера; 2 — сепаратор.

Таблица 3-31

Размеры греющих камер выпарных аппаратов типа ВВ

Номинальная поверхность нагрева, $м^2$	Наружные диаметры греющих трубок, *мм*									
	38					57				
	Наружный диаметр корпуса, *мм*	Диаметр циркуляционной трубы, *мм*	Длина[1] трубок, *мм*	Количество трубок, шт.	Действительная поверхность нагрева, $м^2$	Наружный диаметр корпуса, *мм*	Диаметр циркуляционной трубы, *мм*	Длина трубок[1], *мм*.	Количество трубок[1], шт.	Действительная поверхность нагрева, $м^2$
	600	194	3 000	75	27	600	194	3 500	29	21
25	800	273	2 000	146	35	800	273	2 500	64	28
	800	273	3 500	146	61	1 000	351	3 500	102	65
50	1 000	351	2 000	240	57	1 200	426	2 000	152	55
100	1 000	351	3 500	240	95	1 200	426	3 500	152	95
	1 400	450	2 000	512	122	1 400	450	2 500	226	100
	1 200	426	3 500	386	162	1 400	450	3 500	226	140
150	1 400	450	2 500	512	152	1 600	500	2 500	318	145
	1 400	450	4 000	512	242	1 800	600	3 500	392	245
250	1 600	500	3 000	734	264	2 000	650	2 500	518	232
	1 600	500	4 000	734	350	2 000	650	3 500	518	325
350	1 800	550	3 000	944	340	—	—	—	—	—

[1] В отдельных случаях поверхности нагрева могут быть изменены по требованию заказчика с применением трубок других длин, принятых для изготовления кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

Таблица 3-32

Диаметры (числитель дроби, *мм*) и объемы (знаменатель дроби, *м*³) сепараторов выпарных аппаратов типа ВВ

Номинальная поверхность нагрева, *м*²	При $P_у \geqslant 1$ *кГ/см*²; $H_с = 1\,800$ *мм*								При $P_у \approx 0{,}14$ *кГ/см*²; $H_с = 2\,400$ *мм*							
	Наружный диаметр корпуса, *мм*															
	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
25	600/0,5	800/0,9							600/0,7	800/1,2						
50		800/0,9	1 000/1,4	1 200/2,0						1 000/1,9	1 000/1,9	1 200/2,7				
100			1 000/1,4	1 200/2,0	1 400/2,8						1 200/2,7	1 200/2,7	1 400/3,7			
150				1 200/2,0	1 400/208	1 600/3,6						1 600/4,8	1 600/4,8	1 600/4,8		
250					1 400/2,8	1 600/3,6	1 800/4,6	2 000/5,7					2 000/7,5	2 000/7,5	2 000/7,5	2 000/7,5
350						1 600/3,6	1 800/4,6	2 000/5,7						2 400/11,0	2 400/11,0	2 400/11,0

Примечание. Высоты сепараторов, указанные в таблице, являются минимальными; для промежуточных давлений, а также в случае усиленного пенообразования высоты сепараторов по требованию заказчика могут быть изменены.

Таблица 3-33

Размеры греющих камер выпарных аппаратов типа ВН

Номинальная поверхность нагрева, $м^2$	Наружные диаметры греющих трубок, мм							
	38				57			
	Наружный диаметр корпуса, мм	Длина трубок, мм	Количество трубок, шт.	Действительная поверхность нагрева, $м^2$	Наружный диаметр корпуса, мм	Длина трубок, мм	Количество трубок, шт.	Действительная поверхность нагрева, $м^2$
100	800	5 000	189	113	800	7 000	83	104
	1 000	3 000	300	108	1 000	4 000	137	98
150	800	7 000	189	158	1 000	7 000	137	172
	1 000	4 000	300	143	1 200	4 000	207	148
250	1 000	7 000	300	251	1 200	7 000	207	258
	1 200	4 000	477	228	1 600	4 000	319	270
350	1 200	7 000	477	400	1 400	7 000	281	352
	1 400	4 000	625	300	1 800	4 000	477	342
500	1 400	7 000	625	520	1 600	7 000	379	474
	1 600	5 000	851	513	2 000	5 000	629	563
700	1 600	7 000	851	710	2 000	7 000	629	788
	1 800	5 000	1 097	650	—	—	—	—
900	1 800	7 000	1 097	915	—	—	—	—
	2 000	5 000	1 345	800	—	—	—	—

Аппараты с подвесной греющей камерой распространены в химической промышленности. Они применяются, в частности, для упарки электролитических щелоков. Эти аппараты изготавливает завод «Красный Октябрь». Поверхности нагрева аппаратов 100, 220, 244 и 392 $м^2$. На рис. 3-35 и рис. 3-36 представлены две распространенные конструкции выпарных аппаратов с подвесной греющей камерой. Они отличаются друг от друга, в частности, конструкцией узла подвода греющего пара и сепарирующего устройства. Материалом для изготовления греющих камер может быть углеродистая сталь или сталь 1Х18Н9Т, в зависимости от свойств упариваемого раствора. Основные размеры аппаратов с подвесной греющей камерой приведены в табл. 3-36.

Аппараты с центральными циркуляционными трубами имеют несколько бо́льшую скорость циркуляции по сравнению с аппаратами типа ВВ, достигаемую за счет увеличения суммарной площади поперечного сечения опускных труб. Эти аппараты изготавливают с поверхностью нагрева 230, 300, 375 и 400 $м^2$ при длине трубок 3 000 *мм*. На рис. 3-37 изображен выпарной аппарат с шестью центральными циркуляционными трубами, расположенными по треугольнику. Его поверхность нагрева равна 400 $м^2$. В случаях, когда

Таблица 3-34

Диаметры (числитель дроби, *мм*) и объемы (знаменатель дроби, *м³*) сепараторов выпарных аппаратов типа ВН

Номинальная поверхность нагрева, $м^2$	при $P_у \geq 1$ *кГ/см²*; $H_с = 1\,800$ *мм*							$P_у \approx 0{,}14$ *кГ/см²*; $H_с = 2\,400$ *мм*						
	Наружный диаметр корпуса, *м²*													
	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
100	800/0,9	1 000/1,4						1 200/2,7	1 200/2,7					
150	1 000/1,4	1 000/1,4	1 200/2,0					1 600/4,8	1 600/4,8	1 600/4,8				
250		1 200/2,0	1 200/2,0		1 600/3,6				2 000/7,5	2 000/7,5		2 000/7,5		
350			1 400/2,8	1 400/2,8	1 800/4,6	1 800/4,6				2 400/10,9	2 400/10,9		2 400/10,9	
500				1 800/4,6	1 800/4,6		2 000/5,7				2 800/14,8	2 800/14,8		2 800/14,8
700				2 000/5,7	2 000/5,7	2 000/5,7						3 200/19,5	3 200/19,5	3 200/19,5
900					2 200/6,9	2 200/6,9							3 600/24,5	3 600/24,5

Таблица 3-35

Основные размеры и вес выпарных аппаратов пленочного типа (рис. 3-34)

Поверхность нагрева, $м^2$	Общая высота аппарата, *мм*	Диаметр испарителя, *мм*	Размеры сепаратора, *мм*		Количество трубок, шт.	Вес аппарата, *кг*
			диаметр	высота		
100	9 915	800	1 550	2 500	157	7 800
200	10 165	1 100	1 950	2 750	316	11 000
300	10 315	1 300	2 250	2 900	476	14 700
400	10 365	1 450	2 450	2 950	628	18 000
500	10 415	1 600	2 650	3 000	783	21 100
600	10 415	1 750	2 850	3 000	944	24 200
700	10 415	1 900	3 050	3 000	1 100	26 900

аппарат используют для упарки агрессивных щелочных растворов, корпус аппарата отливают из щелочностойкого чугуна СЧЩ-1, а материалом для трубок служит медь.

На рис. 3-38, 3-39 и 3-40 показаны некоторые типы выпарных аппаратов, изготавливаемых по индивидуальным заказам и имеющих различные поверхности нагрева.

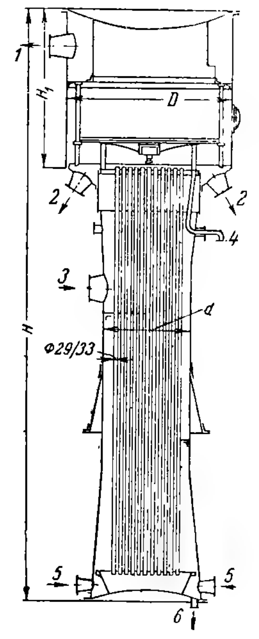


Рис. 3-34. Выпарной аппарат пленочного типа.

1 — вторичный пар; *2* — упарочный раствор; *3* — греющий пар; *4* — неконденсирующиеся газы; *5* — раствор; *6* — конденсат.

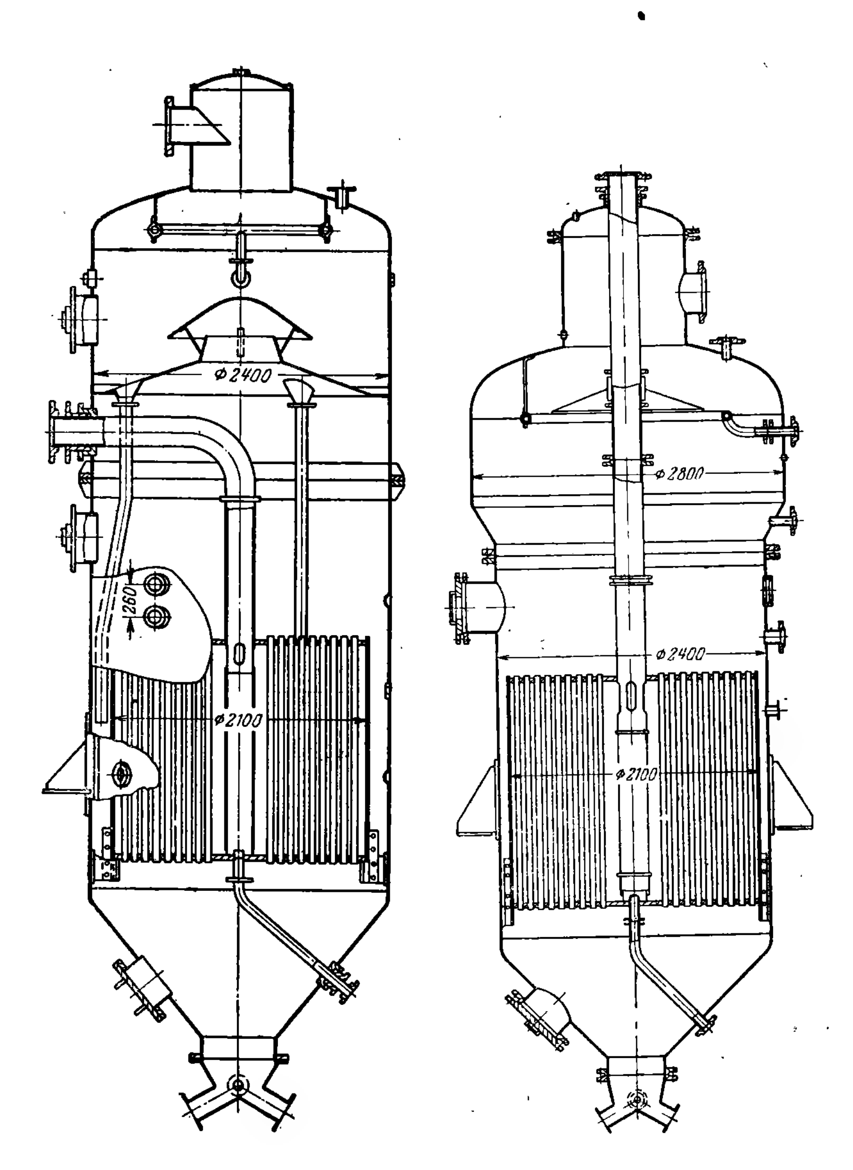


Рис. 3-35. Выпарной аппарат с подвесной греющей камерой.

Рис. 3-36. Выпарной аппарат с подвесной греющей камерой другой конструкции.

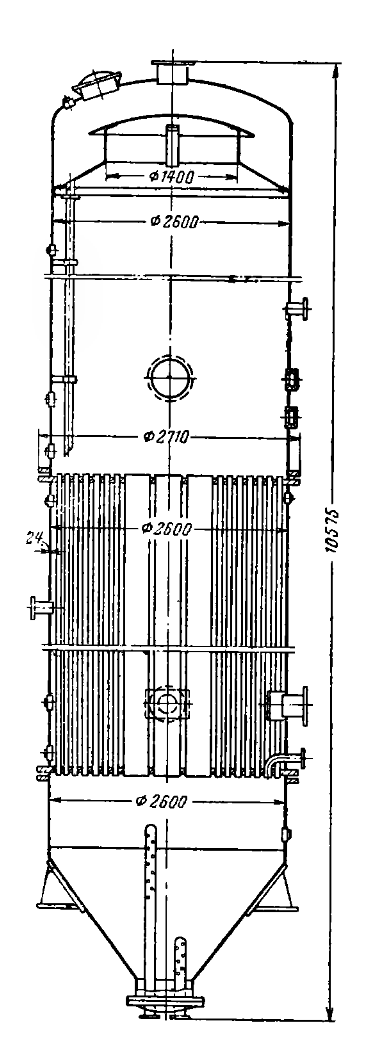


Рис. 3-37. Выпарной аппарат с центральными циркуляционными трубами.

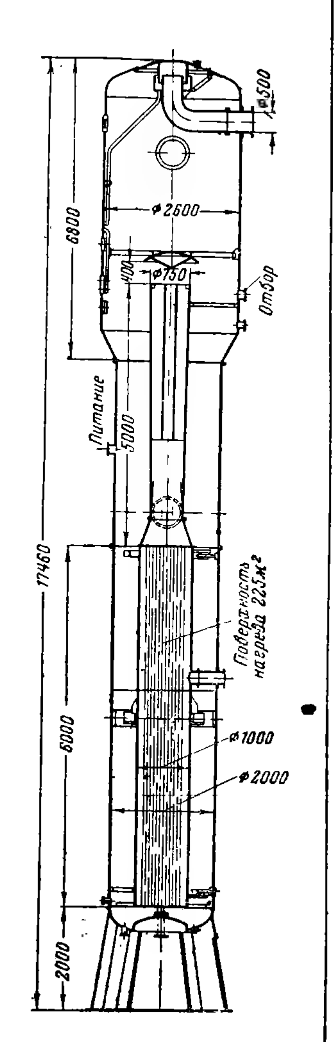


Рис. 3-38. Выпарной аппарат с внутренней греющей камерой.

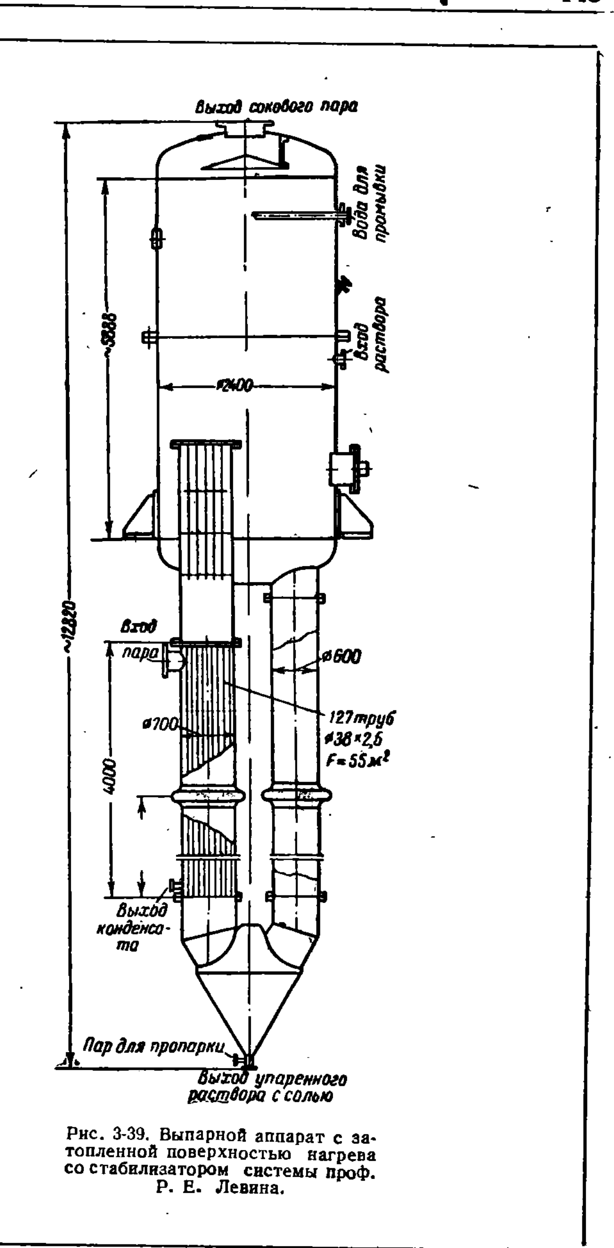


Рис. 3-39. Выпарной аппарат с затопленной поверхностью нагрева со стабилизатором системы проф. Р. Е. Левина.

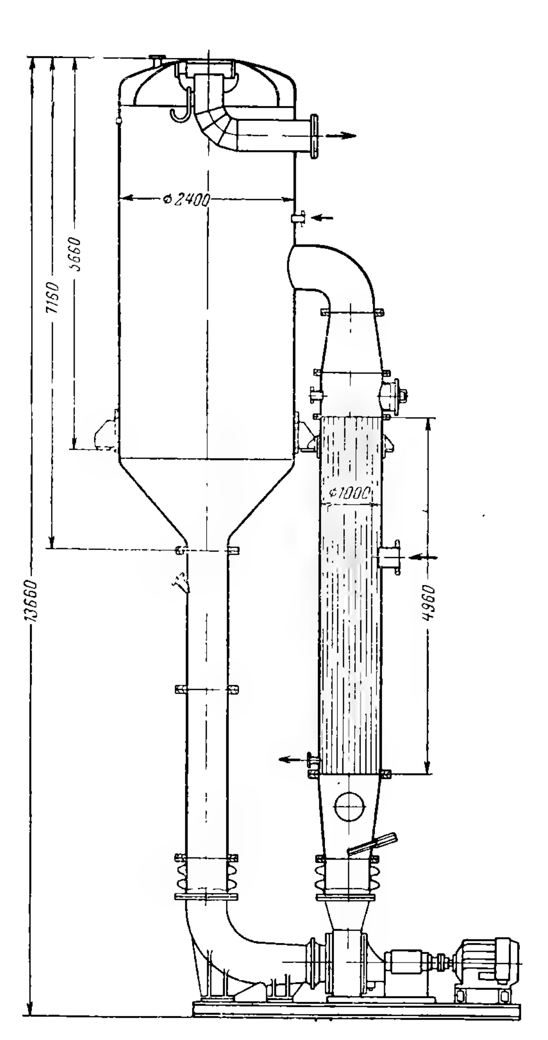


Рис. 3-40. Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией раствора, поверхность нагрева 100 $м^2$.

Таблица 3-36

Размеры выпарных аппаратов с подвесной греющей камерой, *мм*

Размеры аппаратов	Поверхность нагрева, $м^2$					
	392	392	244	220	100	100
Диаметр греющей камеры	2 000	2 000	2 100	2 120	1 700	2 000
Длина трубок	2 750	2 250	2 200	2 000	1 500	1 400
Высота аппарата	8 800	8 500	9 900	7 900	7 000	8 300
Диаметр аппарата	2 500	2 400	2 400	2 400	2 000	2 400

3-7. БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Для создания вакуума в последних корпусах выпарных установок в большинстве случаев применяют конденсаторы барометрического типа. На рисунках 3-41 и 3-42 показаны конструкции двух

Таблица 3-37

Барометрические конденсаторы с сегментными полками

Технические характеристики	Диаметр корпуса, *мм*					
	600	800	1 000	1 200	1 600	2 000
Ориентировочная производительность при 0,1 *ата, кг/ч* . .	1 000—1 700	1 700—2 700	2 700—4 000	4 000—6 000	6 000—10 000	10 000—17 000
Высота цилиндрической части конденсатора, *мм*	2 800	3 200	3 400	3 600	4 000	4 500
Ширина тарелки, *мм*	350	450	550	650	850	1 050
Расстояние между тарелками, *мм*	350	400	400	450	500	550
Высота борта тарелки, *мм* . . .	40	40	40	40	40	40
Условный диаметр парового штуцера, *мм* . .	250	350	400	450	600	800
Рекомендуемый условный диаметр барометрической трубы, *мм*	125	175	200	250	300	400

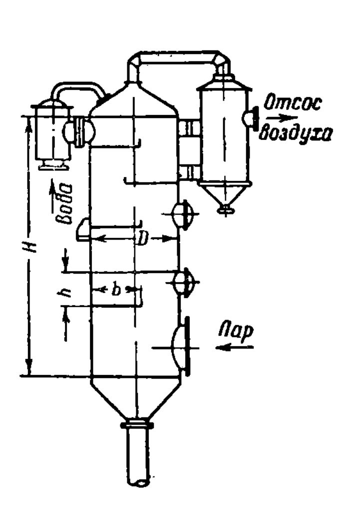


Рис. 3-41. Барометрический конденсатор с сегментными полками.

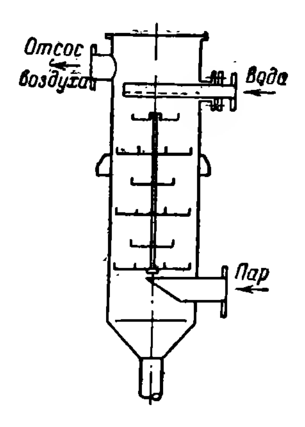


Рис. 3-42. Барометрический конденсатор с круглыми полками.

типов барометрических конденсаторов, различающихся устройством переливных полок.

В табл. 3-37 приведены основные характеристики стандартных барометрических конденсаторов с сегментными полками. Необходимое число отверстий в тарелках барометрического конденсатора при высоте уровня жидкости на полках 10 *мм* можно определить по табл. 3-38. Зависимость количества стекающей с полок жидкости от диаметра отверстий и уровня жидкости на полках приведена в табл. 3-39. Барометрические конденсаторы с сегментными полками изготавливают на диаметры корпуса, большие 600 *мм*. Конденсаторы с круглыми полками изготавливают на диаметры корпуса 200, 350, 400, 500 *мм*.

Таблица 3-38

Необходимое число отверстий в тарелках барометрического конденсатора при высоте уровня жидкости 10 *мм* в зависимости от количества вытекающей воды и диаметра отверстия

Количество вытекающей воды, $м^3/ч$	Диаметр отверстия, *мм*								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	842	423	235	150	105	77	59	46	38
6	1 263	634	353	226	157	115	88	70	56
8	1 684	846	470	301	210	154	118	93	75
10	2 105	1 057	588	376	262	192	147	116	94
15	3 158	1 585	882	564	393	289	220	175	141
20	4 210	2 214	1 176	752	524	382	294	232	188
25	5 264	2 643	1 470	940	655	481	367	291	236
30	6 315	3 171	1 764	1 126	786	576	441	348	282
35	7 368	3 699	2 058	1 316	917	672	514	406	329
40	8 420	4 228	2 352	1 504	1 048	768	588	464	376
50	10 527	5 285	2 940	1 880	1 309	962	734	582	472
60	12 630	6 342	3 528	2 256	1 572	1 152	882	696	564
70	14 735	7 399	4 116	2 632	1 834	1 344	1 029	812	658
80	16 840	8 456	4 704	3 008	2 096	1 536	1 176	928	752
90	18 947	9 513	5 292	3 384	2 357	1 730	1 322	1 046	848
100	21 053	10 570	5 980	3 759	2 618	1 923	1 468	1 163	943
125	26 362	13 212	7 350	4 699	3 272	2 404	1 832	1 454	1 179
150	31 580	15 850	8 820	5 639	3 927	2 885	2 202	1 746	1 415
175	36 889	18 497	10 290	6 779	4 581	3 366	2 566	2 036	1 651
200	42 106	21 140	11 760	7 518	5 236	3 846	2 936	2 326	1 886
225	47 415	23 782	13 230	8 458	5 890	4 327	3 300	2 617	2 122
250	52 733	26 425	14 700	9 398	6 545	4 808	3 670	2 908	2 583
275	57 942	29 062	16 170	10 338	7 199	5 289	4 034	3 199	2 594
300	63 160	31 710	17 640	11 278	7 954	5 770	4 464	3 490	2 830

Таблица 3-39

Количество жидкости, стекающей с тарелок барометрического конденсатора, в зависимости от высоты уровня и диаметра отверстий, *кг/ч*

Высота уровня воды, *мм*	Диаметр отверстий, *мм*								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	4,75	9	17	27	38	52	68	86	106
15	5,20	11	20	31	47	64	83	105	130
30	7,46	16	29	45	65	87	100	149	184
40	8,50	18	34	53	77	104	136	172	233
50	9,67	24	38	59	86	120	153	196	242
200	19,88	42,4	76	119	171	227	300	402	497

3-8. КОЛОННЫЕ АППАРАТЫ ИЗ СТАЛИ И ЧУГУНА

Колонные аппараты широко используют для разделения растворов и газовых смесей при помощи дистилляции, ректификации и абсорбции в производстве синтетических спиртов, синтетического каучука, пластических масс, коксохимии, лесохимии, гидролиза и т. п.

В основу типизации колонных аппаратов положен принцип компоновки их из типовых тарелок и прочих унифицированных деталей.

Применяют колонные аппараты с туннельными и капсульными колпачками, безнасадочные колонные аппараты (решетчатые и ситчатые), а также насадочные аппараты. Классификация колонных аппаратов из стали и чугуна приведена в табл. 3-40.

На рис. 3-43 приведена схема компоновки колонного аппарата из чугуна с туннельными колпачками, применяемого при давлениях до 0,7 *ата* и при температурах до 350° С. Указанные аппараты собирают из царг, в каждой из которых крепятся две съемные тарелки. Применяются царги с высотой 600, 700, 800, 900 и 1 200 *мм* и с расстояниями между тарелками соответственно 300, 350, 400, 450 и 600 *мм*. Конструкция тарелок с установленными на них колпачками показана на рис. 3-44, а характеристика типовых чугунных тарелок и туннельных колпачков приведена в табл. 3-41.

Корпуса колонных аппаратов из стали могут быть сборными на фланцах (тип I), а также цельносварными с отъемной (тип II) и неотъемной (тип III) крышками. В корпусах типа I высота сборных царг и количество тарелок в них устанавливаются согласно табл. 3-42, а в корпусах типа II и III согласно табл. 3-43.

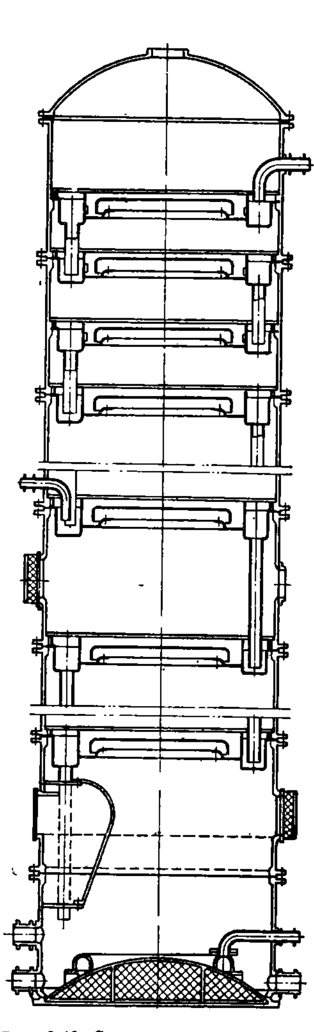


Рис. 3-43. Схема компоновки колонного аппарата из чугуна.

Классификация колон

Колонные аппараты					
Наименование	Тип	Основной материал	Давление, $кГ/см^2$	Внутренний диаметр, мм	Расстояние между тарелками, мм
Колонные аппараты с тунельными колпачками	Колпачковые	Чугун	0,005÷0,7	1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 200, 2 400	300, 350, 400 450, 600
Колонные аппараты с тунельными колпачками				1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 200, 2 600, 3 000	400, 500, 600 700
Колонные аппараты с капсульными колпачками			0,005÷16	400, 500, 600 800, 1 000 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000, 2 200, 2 400, 2 600, 3 000	200**, 250**, 300, 350, 400, 450, 500 свыше не нормализованы
Колонные аппараты безнасадочные (решетчатые)	Безнасадочные	Углеродистая или кислотостойкая сталь		400, 500, 600 800 1 000 1 200, 1 400, 1 600 1 800, 2 000, 2 200 2 400, 2 600, 3 000	200, 300, 350,
Колонные аппараты безнасадочные (ситчатые)				400, 500, 600 800, 1000 1 200, 1 400, 1 600 1 800, 2 000, 2 200 2 400, 2 600, 3 000	400, 450, 600
Колонные аппараты насадочные	Насадочные	То же	То же	400, 500, 600, 800 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000, 2 200, 2 400, 2 600, 3 000	Не нормализовано

* Количество тарелок и общая высота колонного аппарата определяются при

** При наличии штуцеров для подачи или отбора жидкости с тарелок расстоя

Таблица 3-40

ных аппаратов*

Тарелки				
Наименование типа	Обозначение	Колпачок		Переливное устройство
		диаметр, *мм*	ширина, *мм*	
Типовая чугунная	ТЧ	—	80	Перелив диаметральный. Слив флегмы через круглые трубы
Типовая стальная с гуннельными колпачками	ТСТ	—	70,80	
Типовая стальная с капульными колпачками	ТСК-I	80	—	
	ТСК-III	100	—	Перелив диаметральный. Слив флегмы через сегментные трубы
	ТСК-Р	100	—	
Типовая стальная безасадочная (решетчатая)	ТСБ-I			Без переливного устройства
Типовая стальная безасадочная (ситчатая)	ТСБ-II	—	—	
Типовая стальная насаочного колонного аппаата (распределительная арелка и опорная реетка)	ТСН-II, ТСН-III, ТСН-IV	—	—	

о проектировании.

е между тарелками принимается не менее 300 *мм*.

Таблица 3-41

Типовые чугунные тарелки типа ТЧ

Технические характеристики	Внутренний диаметр аппарата, *мм*				
	1 200	1 400	1 600	1 800	2 200
Количество колпачков, шт.	6	7	8	9	11
Площадь всех прорезей колпачков, $м^2$	0,0144	0,0196	0,0234	0,0252	0,0314
Ширина коридора между колпачками, *мм*			40		
Ширина парового прохода, *мм*			30		
Ширина флегмового желоба, *мм*			90		
Площадь сечения паровых патрубков, $м^2$	0,079	0,137	0,192	0,23	0,366
Длина линии барботажа колпачков, *мм*	9,35	11,0	15,0	18,1	27
Площадь сечения двух переливных труб, $м^2$	0,0077	0,0077	0,0077	0,0402	0,0510

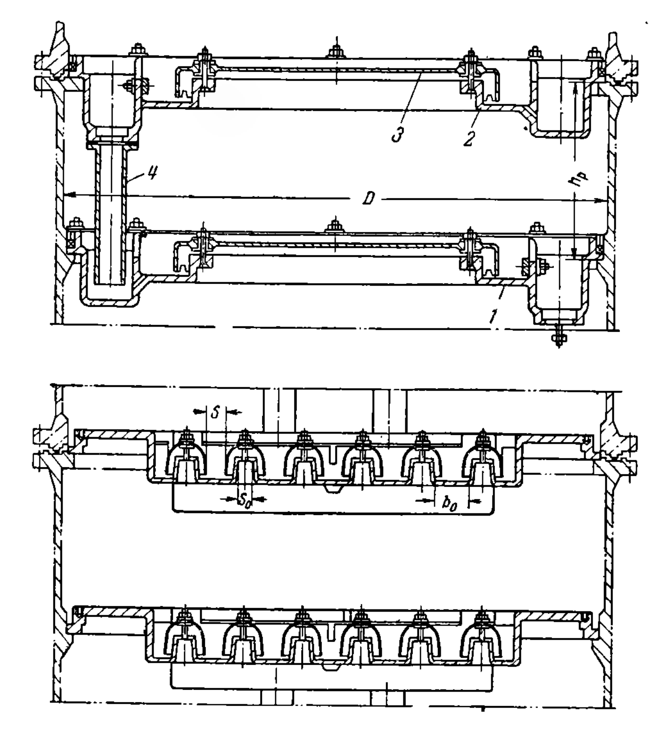


Рис. 3-44. Конструкция тарелок типа ТЧ (две проекции).
1—средняя тарелка; *2*—промежуточная тарелка; *3*—туннельный колпачок; *4*—переливная труба.

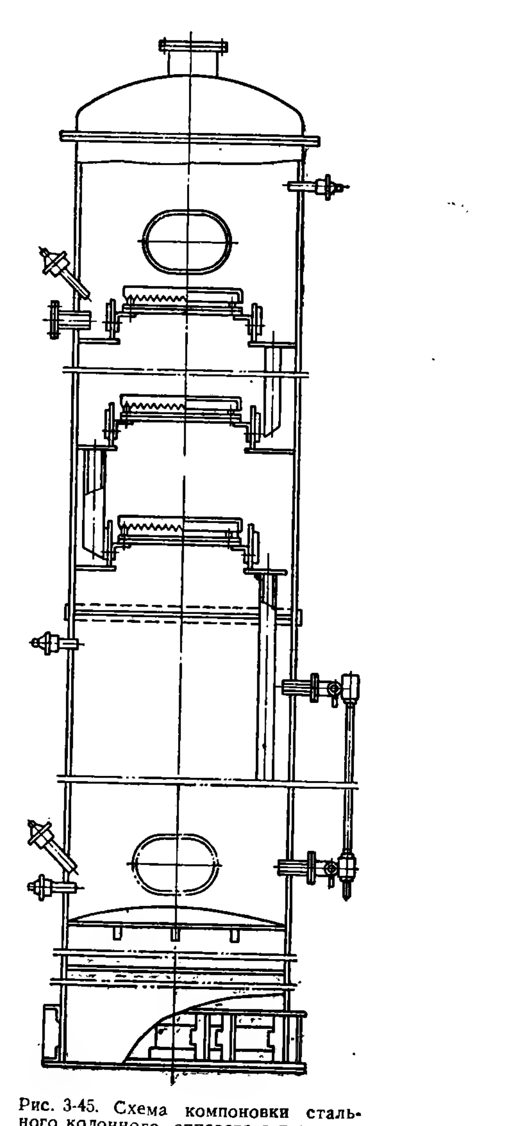


Рис. 3-45. Схема компоновки стального колонного аппарата с туннельными колпачками.

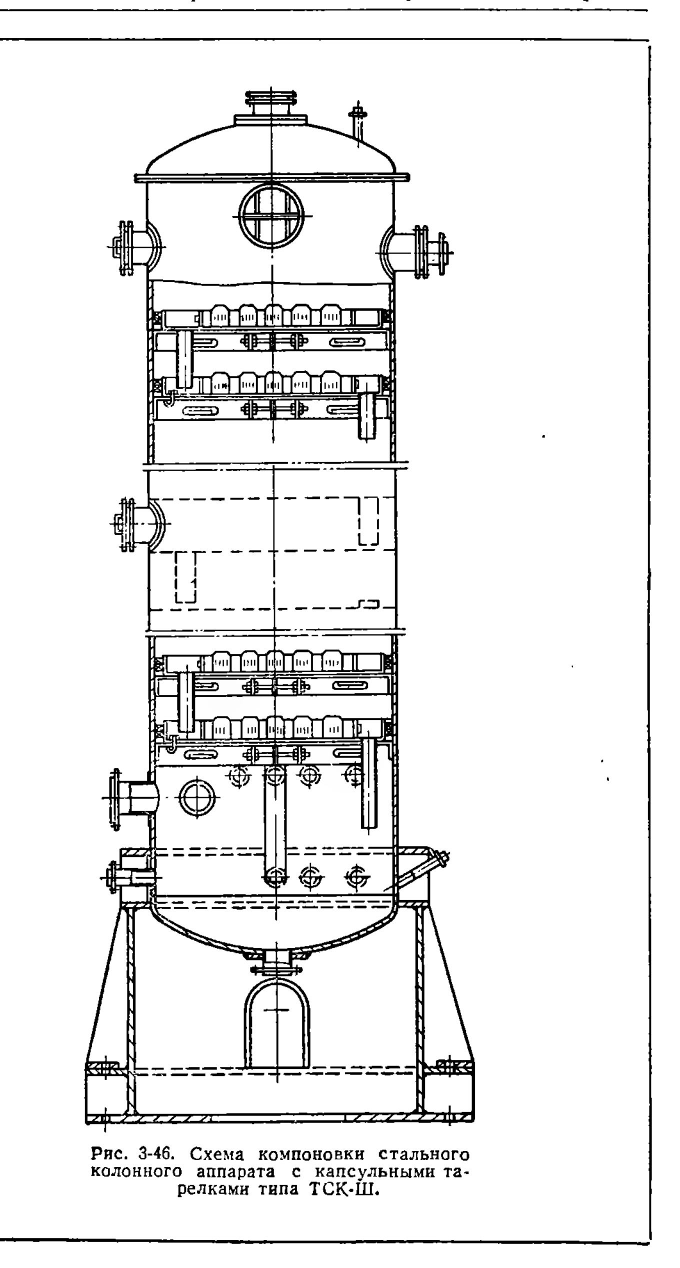


Рис. 3-46. Схема компоновки стального колонного аппарата с капсульными тарелками типа ТСК-Ш.

Таблица 3-42

Компоновка тарелок в корпусах колонных аппаратов типа I

Тип тарелок	Внутренний диаметр колонного аппарата, *мм*	Расстояние между тарелками, *мм*	Высота звена (царги), *мм*	Максимальное количество тарелок в одном звене.
ТСК-1 с капсульными колпачками	400; 500; 600	200; 250 300; 350 400; 450	800; 1 000 900; 1 150 1 200; 1 350	4 3 3
	800	200; 250 300; 350 400: 450 500; 550	800; 1 000 1 200; 1 400 1 600; 1 800 1 500; 1 650	4 4 4 3
	1 000	200; 250 300; 350 400: 450 500; 550 600	1 400; 1 750 1 800; 2 100 2 000; 2 250 2 000; 2 200 1 800	7 6 5 4 3
ТСТ с туннельными колпачками	1 400; 1 600	400 500 600	2 000 3 000 4 200	5 6 7
	1 800; 2 200 2 600; 3 000	400 500 600	4 000 4 000 4 200	10 8 7

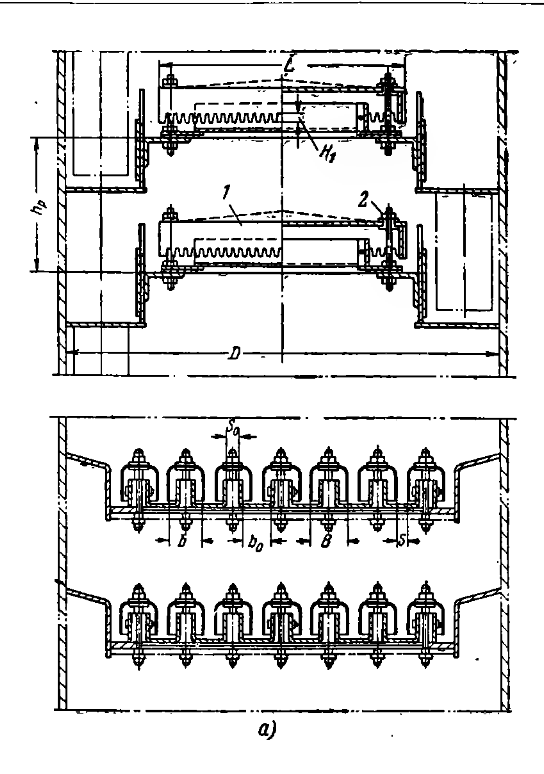
Таблица 3-43

Компоновка тарелки типа ТСТ в корпусах колонных аппаратов типа II и III с нормальными люками

$D_у$ 350×420

Внутренний диаметр корпуса, *мм*	Расстояние между тарелками, *мм*	Расстояние между осями люков корпуса, *мм*	Количество тарелок в группе между люками
1 200; 1 400; 1 600; 1 800; 2 200; 2 600; 3 000	600, 700	600, 700 (на каждой тарелке один люк)	Одна





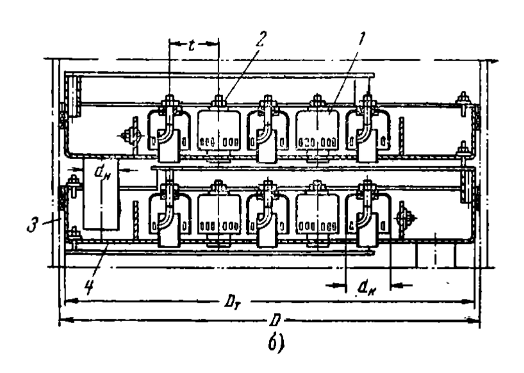


Рис. 3-47. Тарелки колонных аппаратов.

а — с туннельными колпачками (две проекции); *б* — с капсульными колпачками; *1* — колпачок; *2* — крепление колпачка; *3* — регулировочный винт; *4* — диск тарелки.

Таблица 3-44

Туннельный колпачок и тарелка типа ТСТ (рис. 3-47)

Внутренний диаметр аппарата, *мм*	Колпачок						Тарелка					
	Длина колпачка, L, *мм*	Ширина колпачка B, *мм*	Высота прорези H, *мм*	Число прорезей	Площадь всех прорезей, $м^2$	Длина линий барботажа, *м*	Количество колпачков на тарелке, шт.	Ширина парового прохода S_0, *мм*		Диаметр переливной трубы, *мм*	Ширина флегмового желоба, $в_0$, *мм*	
1 200	760	70	20	98	0,0147	1,46	8	20	30	133	90	80
			25		0,0184							
			30		0,0220							
		80	20		0,0147							
			25		0,0184							
			30		0,0220							
1 400	810	70	20	104	0,0155	1,55	10	20	30	159	90	80
			25		0,0195							
			30		0,0234							
		80	20		0,0155							
			25		0,0195							
			30		0,0234							

Продолжение таблицы 3-44

Внутренний диаметр аппарата, мм	Колпачок: Длина колпачка L, мм	Ширина колпачка B, мм	Высота прорези H, мм	Число прорезей	Площадь всех прорезей, $м^2$	Длина линии барботажа, м	Тарелка: Количество колпачков на тарелке, шт.	Ширина парового прохода S_0, мм		Диаметр переливной трубы, мм	Ширина флегмового желоба $в_0$, мм	
1 600	1 092	70	20	142	0,0213	2,12	10	20	30	133	90	80
			25		0,0267							
			30		0,0320							
		80	20		0,0213							
			25		0,0267							
			30		0,0320							
1 800	1 170	70	20	152	0,0228	2,27	12	20	30	159	90	80
			25		0,0285							
			30		0,0342							
		80	20		0,0228							
			25		0,0285							
			30		0,0342							
2 200	1 400	70	20	184	0,0276	2,75	15	20	30	194	90	80
			25		0,0346							
			30		0,0415							
		80	20		0,0276							
			25		0,0346							
			30		0,0415							

Продолжение таблицы 3-44

Внутренний диаметр аппарата, мм	Колпачок						Тарелка					
	Длина колпачка L, мм	Ширина колпачка B, мм	Высота прорези H, мм	Число прорезей	Площадь всех прорезей, м²	Длина линий барботажа, м	Количество колпачков на тарелке, шт.	Ширина парового прохода S_0, мм		Диаметр переливной трубы, мм	Ширина флегмового желоба $в$, мм	
2 600	1 600	70	20	210	0,0315	3,14	18	20	30	273	90	80
			25		0,0395							
			30		0,0472							
		80	20		0,0315							
			25		0,0395							
			30		0,0472							
3 000	1 840	70	20	242	0,0363	3,62	21	20	30	273	90	80
			25		0,0455							
			30		0,0545							
		80	20		0,0363							
			25		0,0455							
			30		0,0545							

Примечания: 1. При $S_0 = 20$ мм $в_0 = 90$ мм. При $S = 30$ мм $в_0 = 80$ мм.
2. Ширина колпачков ($в$) равняется 70 и 80 мм. При $в = 70$ мм $S = 40$ мм. При $в = 80$ мм $S = 30$ мм.

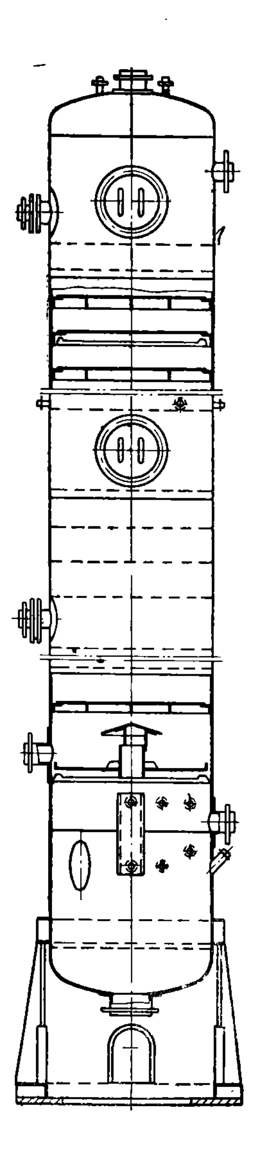


Рис. 3-18. Схема компоновки колонного аппарата с решетчатыми или ситчатыми тарелками. Через отверстия в тарелках осуществляется барботаж поднимающихся вверх по колонне паров. Перетекание жидкости с тарелки на тарелку происходит через эти же отверстия.

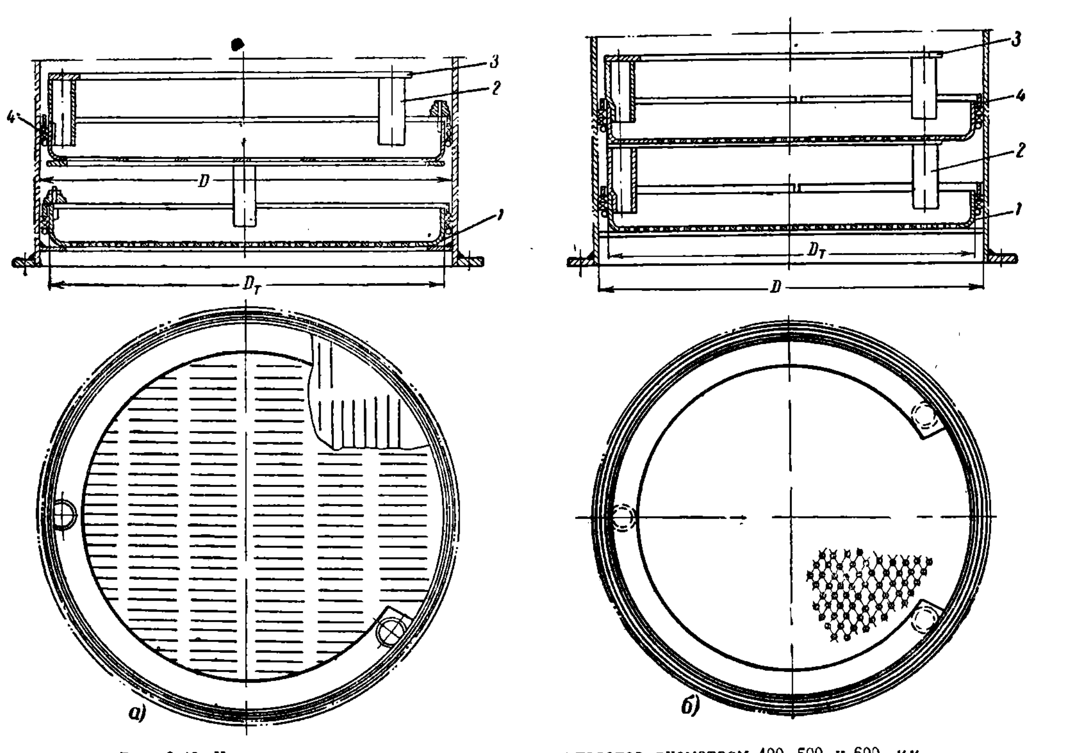


Рис. 3-49. Конструкции тарелок для колонных аппаратов диаметром 400, 500 и 600 *мм*.

а — тарелка ТСБ-I; *б* — тарелка ТСБ-II.

1 — основание тарелки; *2* — опорная труба; *3* — опорное полукольцо; *4* — уплотнение.

Таблица 3-45

Техническая характеристика тарелки с капсульными колпачками (рис. 3-47)

Тип тарелки	Диаметр колонны D, *мм*	Диаметр тарелки $D_т$, *мм*	Диаметр колпачков $D_к$, *мм*	Количество колпачков n, шт.	Шаг t, *мм*	Длина линии барботажа l, *м*	Диаметр переливной трубы $d_н$, *мм*	Площадь сечения переливной сегментной трубы в свету, *м²*	Площадь паровых патрубков в свету, *м²*
ТСК-I	400	380	80	6	110	1,51	—	0,005	0,012
	500	480		10		2,51	57	—	0,0196
	600	580		13		3,25	57	—	0,039
	800	780		29		7,29	89	—	0,057
	1 000	980		34		8,54	108	—	0,067
ТСК-III	1 000	980	100	27	140	8,5	—	0,025	0,082
	1 200	1 170		34		10,7	—	0,054	0,103
	1 400	1 370		56		17,6	—	0,054	0,169
	1 600	1 570		66		20,7	—	0,090	0,200
	1 800	1 770		96		30,1	—	0,090	0,290
	2 000	1 970		129		40,5	—	0,090	0,380
	2 200	1 170		147		46,2	—	0,218	0,444
	2 400	2 370		163		51,2	—	0,290	0,490
	2 600	2 570		208		65,3	—	0,290	0,630
	3 000	2 970		284		89,2	—	0,428	0,856
ТСК-Р	1 200	—	100	41	140	12,9	—	0,080	0,120
	1 400	—		59		18,5	—	0,098	0,178
	1 600	—		70		22,0	—	0,125	0,212
	1 800	—		100		31,4	—	0,223	0,320
	2 000	—		129		40,5	—	0,327	0,380
	2 200	—		151		47,4	—	0,337	0,455
	2 400	—		169		53,1	—	0,490	0,510
	2 600	—		212		66,6	—	0,578	0,640
	3 000	—		288		90,5	—	0,681	0,870

На рис. 3-49 показаны конструкции решетчатых и ситчатых тарелок колонных аппаратов диаметром 400, 500 и 600 *мм*. Для колонн больших диаметров применяют тарелки другой конструкции узла крепления к корпусу колонны. В тарелках типа ТСБ-1 длина щелей принимается равной 60 *мм*, а ширина 4, 5, 6 и 8 *мм*. Расстояние между щелями выбирается в зависимости от диаметра колонны и толщины листа тарелок в пределах от 8,75 до 23,3 *мм*. Для изготовления тарелок используют листы толщиной 2,5; 3,4; 5 и 6 *мм*

из углеродистой стали и толщиной 2; 2,5; 3,4 и 5 *мм* из кислотостойкой стали. Расстояние между столбцами щелей не менее 10 *мм*. При изготовлении ситчатых тарелок из стальных листов толщиной *s* диаметр отверстий принимается равным не менее 1,33 *s* для углеродистой стали и не менее 1,80 *s* для кислотостойкой стали. Шаг между отверстиями принимается не менее трех диаметров отверстия.

Насадочная колонна состоит из корпуса, в котором укреплены опорные решетки и распределительные тарелки. Опорные решетки служат для укладки на них насадки. Насадка помещается отдельными ярусами высотой от 1 до 3 *м*. Между ярусами оставляют свободные объемы высотой 300—500 *мм*, в которых устанавливают распределительные тарелки. Распределительные тарелки необходимы для создания более равномерного по сечению орошения насадки, так как по мере перетекания по насадке вниз орошающая жидкость перемещается к стенкам колонн. Кроме того, распределительные тарелки обеспечивают более равномерное распределение пара по сечению колонны.

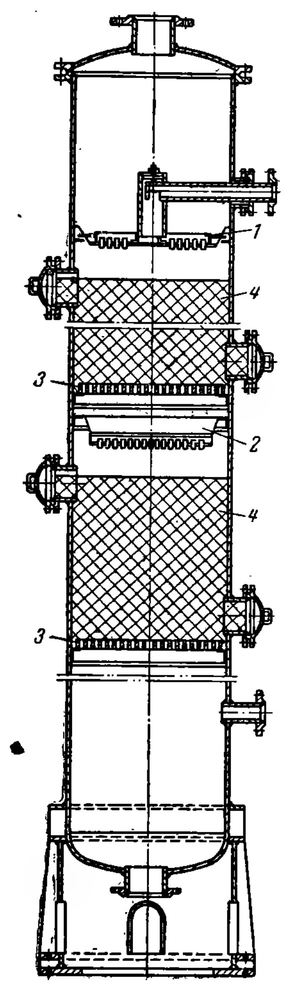


Рис. 3-50. Схема компоновки насадочного колонного аппарата.

1 — распределительная тарелка типа ТСН-III; *2* — распределительная тарелка типа ТСН-II; *3* — опорная решетка типа ТСН-IV; *4* — насадка.

Рис. 3-51. Тарелка типа ТСН-II.
1—собирающий конус; 2—основание тарелки; 3—патрубок для жидкости.

Таблица 3-46

Техническая характеристика тарелки типа ТОН-II (рис. 3-51)

Диаметр колонны аппарата, *мм*	Диаметр тарелки, *мм*	Жидкостный патрубок		
		Наружный диаметр, *мм*	Количество, шт.	Суммарная площадь в свету, $м^2$
400	250	25,0	19	0,0066
500	300		31	0,0107
600	350		37	0,0127
800	500	44,5	37	0,045
1 000	600		55	0,067
1 200	750		91	0,111
1 400	850		121	0,148
1 600	1 000	57,0	95	0,194
1 800	1 100		121	0,247
2 000	1 120		139	0,283
2 200	1 350		187	0,382
2 400	1 450		211	0,430
2 600	1 600		253	0,516
3 000	1 800		325	0,663

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И УСТАНОВОК РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА МЕТОДОМ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

4-1. ИСПАРИТЕЛИ, КОНДЕНСАТОРЫ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Аммиачные аппараты изготавливают вертикальными или горизонтальными. Горизонтальные кожухотрубные аппараты делают многоходовыми с гладкими или ребристыми накатанными трубами.

В целях унификации кожухотрубных аппаратов заводом «Компрессор» приняты следующие ограничения:

Диаметр стальных труб (как гладких, так и под накатку) — 25×3 *мм*.

Пучок труб шахматный ромбический с единым шагом для гладких и для оребренных труб — 34 *мм*.

Число ходов во всех случаях должно быть четным.

Длины и диаметры кожухов, а также число труб приняты равными для аппаратов с гладкими и накатанными трубами.

Приводимые типы горизонтальных кожухотрубных испарителей охватывают диапазон производительностей от 50 000 до 1 900 000 *ккал/ч* — для аппаратов с гладкими трубами и от 60 000 до 2 500 000 *ккал/ч* — для аппаратов с накатанными трубами.

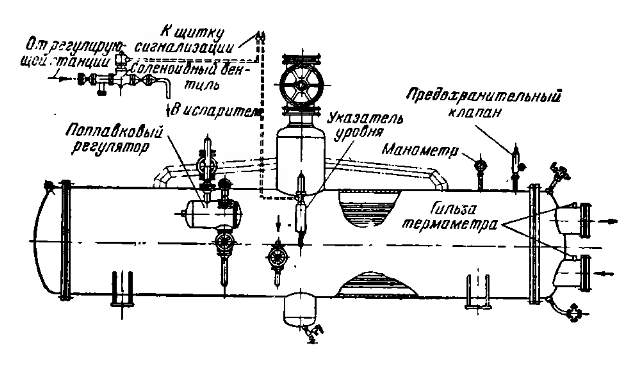


Рис. 4-1. Горизонтальный кожухотрубный испаритель.

Таблица 4-1

Аммиачные кожухотрубные испарители завода „Компрессор" (рис. 4-1)

Техническая характеристика	Условное обозначение испарителя										
	32-ИКТ	40-ИКТ	65-ИКТ	90-ИКТ	110-ИКТ	140-ИКТ	180-ИКТ	250-ИКТ	300-ИКТ	420-ИКТ	50-ИКТ
Поверхность охлаждения, $м^2$	32	40	65	90	110	140	180	250	300	420	50
Диаметр корпуса, *мм*	500	600	600	800	800	1 000	1 000	1 200	1 200	1 400	600
Толщина стенки, *мм*	8	8	8	8	8	10	10	12	12	14	8
Габариты, *мм*:											
длина	4 520	4 580	5 580	4 670	5 670	4 800	5 800	5 920	6 920	7 025	4 580
высота	1 345	1 445	1 445	1 800	1 800	2 120	2 120	2 470	2 470	2 860	1 445
ширина	820	895	895	1 145	1 315	1 315	1 315	1 550	1 550	1 840	895
Число труб	144	216	216	386	386	614	614	870	870	1 226	216
Число ходов рассола	8	8	8	8	8	8	8	4	4	4	8
Емкость межтрубного пространства, $м^3$	0,5	0,53	0,88	1,14	1,58	2,1	2,64	4,5	5,4	5,54	0,7
Вес аппарата, *кг*	1 790	1 960	2 920	4 150	4 900	6 440	7 700	10 910	12 710	18 290	2 400

Таблица 4-2

Кожухотрубные конденсаторы завода „Компрессор“ (рис. 4-2)

Технические характеристики	Условное обозначение конденсатора											
	20-КТГ	25-КТГ	32-КТГ	4-ОКТГ	50-КТГ	65-КТГ	90-КТГ	110-КТГ	140-КТГ	180-КТГ	250-КТГ	300-КТГ
Поверхность охлаждения, *м²*	20	25	32	40	50	65	90	110	140	180	250	300
Диаметр корпуса, *мм*	500	500	500	600	600	600	800	800	1 000	1 000	1 200	1 200
Толщина стенки, *мм*	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	12	12
Габариты, *мм*:												
длина	2 900	3 400	4 400	3 520	4 520	5 520	4 670	5 670	4 760	5 760	5 860	6 860
высота	1 065	1 065	1 065	1 255	1 255	1 275	1 615	1 615	2 120	2 120	2 395	2 395
ширина	620	620	620	720	720	720	930	930	1 150	1 150	1 350	1 350
Диаметр горшка, *мм*	245	245	245	245	245	245	325	325	325	325	325	325
Число труб	144	144	144	216	216	216	386	386	614	614	870	870
Число ходов воды	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Емкость межтрубного пространства, *м³*	0,32	0,39	0,52	0,53	0,7	0,88	1,26	1,58	2,0	2,5	3,5	4,1
Вес аппарата, *кг*	1 225	1 395	1 735	1 780	2 240	2 730	3 815	4 580	6 100	7 340	10 420	12 210

Таблица 4-3

Аммиачные кожухотрубные аппараты с ребристыми трубами завода „Компрессор“

Диаметр обечайки, *мм*	Число труб, шт.	Длина труб, *м*	Поверхность, $м^2$	Испарители производительностью 3 000 *ккал м²·ч*		Конденсаторы производительностью 6 000 *ккал/м²·ч*	
				Холодопроизводительность, *ккал/ч*	Число ходов	Холодопроизводительность, *ккал/ч*	Число ходов
500	134	2,5 3 4	20 25 32	— — 9 260	— — 4 (8)*	115 000 189 000 185 200	8 8 8
600	214	3 4 5	40 50 65	110 400 147 700 185 000	8 4 (8)* 4	220 800 295 400 370 000	8 8 4
800	380	4 5	90 110	261 000 328 000	4 (8)* 4	522 000 656 000	8 4
1 000	614	4 5	140 180	420 000 525 000	4 (8)* 4	840 000 1 050 000	8 (4)** 4 (2)**
1 200	870	5 6	250 300	747 000 897 500	4 4	1 494 000 1 795 000	4 (2)** 4 (2)**
1 400	1 220	6	420	1 255 000	4	—	—
1 200	870	2×5	500	1 494 000	2	2 988 000	2
1 400	1 220	2×6	840	2 510 000	2	—	—

* Холодопроизводительность аппарата остается неизменной при числе ходов, указанном в скобках, несмотря на меньшую скорость и температуру рассола.

** Число ходов в скобках соответствует работе конденсатора с возвратной водой.

В табл. 4-4 приведены основные технические характеристики вертикально-трубных аммиачных испарителей. Испарители этого типа представляют собой открытый бак с опущенными в него секциями, состоящими из двух горизонтальных коллекторов с вваренными вертикальными трубками. Отдельные секции объединены коллекторами для подачи жидкого и отвода парообразного аммиака. Бак разделен продольной перегородкой на две части, в одну из которых помещена мешалка.

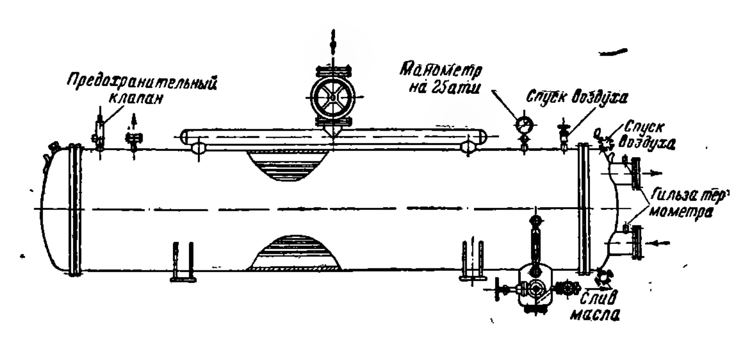


Рис. 4-2. Горизонтальный кожухотрубный конденсатор.

Таблица 4-4

Вертикально-трубные аммиачные испарители завода „Компрессор"

Условное обозначение	Поверхность, $м^2$	Размер бака, *мм*			Мощность электродвигателя мешалки, *квт*	Вес испарителя, *кг*
		Длина	Ширина	Высота		
20-ИА	20	3 200	790	1 350	1	1 730
30-ИА	30	3 200	790	1 350	1	2 190
40-ИА	40	3 480	1 040	1 350	1	2 786
60-ИА	60	4 800	1 040	1 350	1	3 820
90-ИА	90	4 800	1 595	1 350	1,7	5 365
120-ИА	120	5 800	1 595	1 350	1,7	6 475
160-ИА	160	5 800	2 145	1 350	1,7	8 645
200-ИА	200	5 800	2 675	1 360	1,7	10 515
240-ИА	240	6 200	2 090	2 050	1,7	11 935
320-ИА	320	6 200	2 800	2 050	2,8	16 215

Таблица 4-5

Конденсаторы кожухотрубные вертикальные аммиачные завода „Компрессор"

Условное обозначение	Поверхность, $м^2$	Диаметр обечайки, *мм*	Высота, *мм*	Вес, *кг*
50-КВТ	50	724	5 500	2 535
75-КВТ	75	830	5 500	3 415
100-КВТ	100	1 000	5 500	4 760
125-КВТ	123,5	1 000	6 000	5 725
150-КВТ	146	1 200	5 000	6 830
250-КВТ	245	1 400	5 500	10 750

Вертикальные аммиачные конденсаторы представляют собой кожухотрубные аппараты с гладкими трубами. Основные характеристики этих конденсаторов приведены в табл. 4-5.

Оросительный аммиачный конденсатор типа МКО (табл. 4-6) состоит из плоских трубчатых змеевиков с поверхностью теплообмена 15 *м*² каждый, соединенных между собой коллекторами и ресивером жидкого аммиака. Конденсатор снабжается водооросительным устройством.

Таблица 4-6

Оросительные аммиачные конденсаторы с промежуточным отводом жидкости завода „Компрессор"

Условное обозначение	Поверхность, *м*²	Габаритные размеры, *мм*			Вес, *кг*
		Длина	Ширина	Высота	
45-МКО	45	6 350	1 175	2 205	1 912
60-МКО	60	6 350	2 325	2 205	2 530
75-МКО	75	6 350	2 875	2 205	3 140
90-МКО	90	6 350	3 425	2 205	3 795

В качестве испарителей могут быть использованы низкотемпературные спирально-ребристые батареи типа НТБ. Батарея НТБ состоит из шести последовательно расположенных змеевиков с горизонтальными стальными трубками. Для увеличения поверхности теплообмена на них навиты стальные ребра. Концы змеевиков объединены входным и выходным горизонтальными коллекторами. Батареи должны продуваться воздухом. Размеры батарей НТБ приведены в табл. 4-7.

Таблица 4-7

Низкотемпературные спирально-ребристые батареи

Условное обозначение	Поверхность, *м*²	Габаритные размеры, *мм*			Вес, *кг*
		Длина	Ширина	Высота	
НТБ-1,0	27	1 395	620	546	271
НТБ-1,5	42	1 895	620	546	369
НТБ-1,9	53	2 295	620	546	445
НТБ-2,4	66	2 795	620	546	540
НТБ-3,0	83	3 395	620	546	656
НТБ-3,7	104	4 095	620	546	790

Основные размеры противоточных переохладителей, применяемых в холодильных системах с оросительными или кожухотрубными конденсаторами и монтируемых на линиях от конденсатора к регулирующей станции, приведены в табл. 4-8. Противоточный переохладитель выполняется в виде секционных теплообменников типа «труба в трубе». Материал внутренней и наружной труб — сталь, диаметры, соответственно 35×3,5 и 57×3 *мм*.

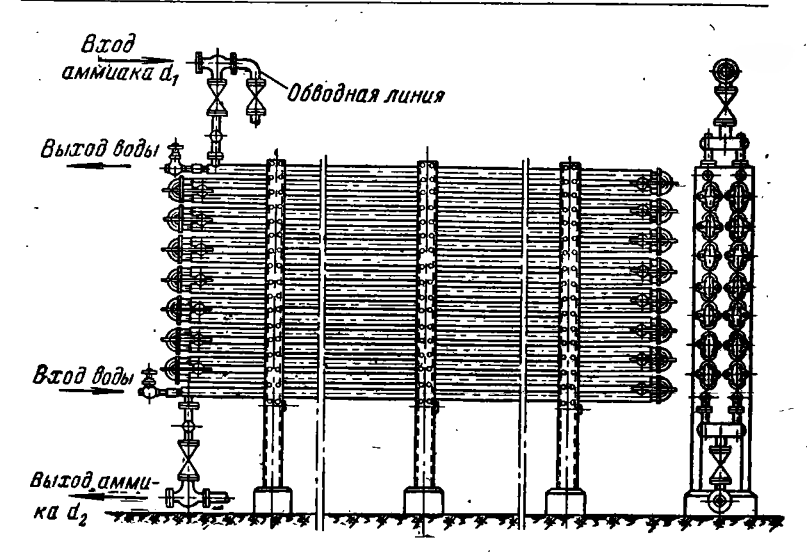


Рис. 4-3. Противоточный переохладитель.

Промежуточные сосуды (табл. 4-9) применяют для снятия перегрева паров аммиака, нагнетаемых из цилиндра низкого давления в цилиндр высокого давления путем их барботажа через слой жидкого аммиака при двух- или многоступенчатом сжатии. При изготовлении промежуточных сосудов для обечаек и днищ используется Ст. 3 ГОСТ 380-60, а для змеевиков и патрубков — сталь 10 ГОСТ 8732-58.

Таблица 4-8

Аммиачные противоточные переохладители завода „Компрессор" (рис. 4-3)

Условное обозначение	Поверхность, $м^2$	Количество секций	Количество труб в секции	Диаметры штуцеров, *мм*		Габаритные размеры, *мм*			Вес, *кг*
				аммиачных	водяных	Длина	Ширина	Высота	
5-ПП	4,86	1	10	32	32	5 200	134	1 250	480
6-ПП	5,85	1	12	32	32	5 200	134	1 380	565
8-ПП	7,8	1	16	32	32	5 200	134	1 690	730
12-ПП	11,7	2	12	40	50	5 200	307	1 700	1 110
16-ПП	15,6	2	16	50	50	5 200	307	2 010	1 450

Таблица 4 9

Промежуточные сосуды типов ПС и ПСЗ завода „Компрессор"

Условное обозначение	Диаметр обечайки, *мм*	Высота, *мм*	Поверхность змеевика, $м^2$	Емкость, $м^3$	Вес, *кг*
40-ПС	426	2 460	1,38	0,24	380
50-ПСЗ	500	2 820	1,76	0,4	410
60-ПСЗ	600	2 920	3,4	0,67	550
70-ПСЗ	700	3 250	5,6	1,1	860
120ПСЗМ	1 200	4 000	10,0	3,2	2 100

Для хранения аммиака, необходимого для работы установки, используют ресиверы типа РВ, монтируемые на стороне высокого давления (табл. 4-10).

Таблица 4-10

Аммиачные ресиверы завода „Компрессор"

Условное обозначение	Емкость, $м^3$	Диаметр цилиндрической части, *мм*	Длина цилиндрической части, *мм*	Общая длина, *мм*	Вес, *кг*
0,75-РВ	0,75	600	2 450	3 000	450
1,5-РВ	1,5	800	2 950	3 600	710
2,5-РВ	2,5	800	2 920	5 550	1 035
3,5-РВ	3,5	1 000	4 000	5 100	1 500
5-РВ	5	1 200	4 500	5 750	2 240

4-2. ИСПАРИТЕЛИ И КОНДЕНСАТОРЫ ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Испарители и конденсаторы фреоновых холодильных установок представляют собой многоходовые горизонтальные кожухотрубные аппараты с медными накатанными трубами. Отношение диаметра к толщине стенки трубы после накатки 21/13 и отношение площади поверхности накатанной трубы к площади поверхности не накатанной трубы равно 3,5.

В табл. 4-11 приведены основные конструктивные размеры аппаратов типа ИТР и КТР, выпускаемых заводом «Компрессор» и одесским заводом холодильного машиностроения. Под номинальной поверхностью понимают величину округленной наружной теплопередающей поверхности. Действительная поверхность несколько отличается от номинальной и зависит от выбора числа и длины труб.

Таблица 4-11

Фреоновые кожухотрубчатые аппараты

Номинальная наружная поверхность, $м^2$	Диаметр обечайки, *мм*	Длина труб, *м*	Число труб, шт.	Действительная наружная поверхность, $м^2$	Число ходов испарителя	Число ходов конденсатора
25 35 50	404	1,5 2,0 2,5	135	30 40 49,6	6; 8 4; 8 4; 8	4 4 4
65 85	500	2,0 3,0	210	62 92,5	2; 6; 8 4; 8	4; (2)* 4; (2)*
110 150	600	2,5 3,5	293	107 150	2; 4; 8 4; 6	4 2
200 260	800	3 4	455	200	4; 6 2; 6	4; (2)* 2
380 500	900	4 5	680	407 500	2; 4 2; 4	— —

* Число ходов в скобках соответствует работе конденсатора с возвратной водой.

4-3. ПАРОВОДЯНЫЕ ЭЖЕКТОРНЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

В холодильной технике для получения холода при небольших разностях температур в испарителе и конденсаторе и при температурах испарения выше 0° С применяют эжекторные холодильные установки. Они находят применение в установках по кондиционированию воздуха для сушки и охлаждения воздуха. Приводятся основные данные пароводяных эжекторных холодильных машин, изготовляемых заводом «Компрессор». На рис. 4-4 показана принципиальная схема одной из холодильных машин этого типа.

Пароводяная эжекторная холодильная машина 5-Э1 имеет холодопроизводительность 300 000 *ккал/ч* при температуре рабочей воды 4° С.

Холодопроизводительность регулируется количеством включенных главных эжекторов и может быть равной трети, двум третям и полной производительности. Машина 5-Э1 состоит из горизонтального трехсекционного испарителя, поверхностного главного конденсатора, трех главных эжекторов, воздушных эжекторов I и II ступеней, блока вспомогательных конденсаторов и конденсаторного эжектора.

Холодильный агент . . . . Вода
Расход рабочей воды, $м^3/ч$ . . . . 150—175
Давление рабочего пара, $кГ/см^2$ . . . . . . 6—7

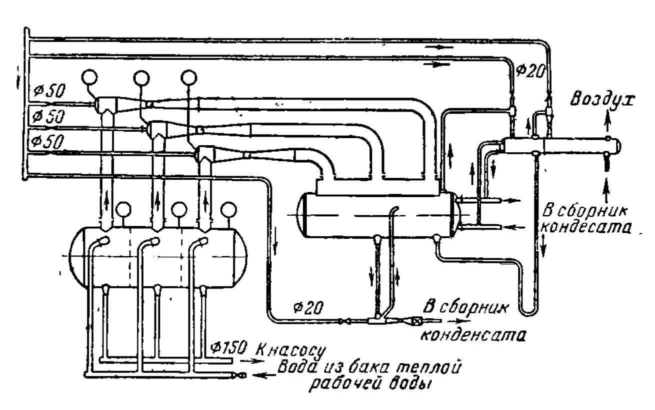


Рис. 4-4. Пароводяная эжекторная холодильная установка.

Расход рабочего пара при температуре охлаждающей воды, поступающей на конденсаторы:	
до +24° С, *кГ/ч*	1 800
до +28° С, *кГ/ч*	2 750
Расход охлаждающей воды, *м³/ч*	300
Вес машины, *кг*	~4 000

Пароводяная эжекторная холодильная машина 7-Э имеет холодопроизводительность 360 000 *ккал/ч* при температуре рабочей воды +8°. Холодопроизводительность регулируется включением различных групп главных эжекторов и может быть равна трети, двум третям или полной производительности.

Машина 7-Э состоит из горизонтального двухсекционного испарителя, поверхностного главного конденсатора, шести параллельно работающих главных эжекторов, двух вспомогательных эжекторов и конденсатного электронасоса.

Холодильный агент	Вода
Расход рабочей воды, *м³/ч*	170
Давление рабочего пара, *кГ/см²*	7
Расход рабочего пара при температуре охлаждающей воды, поступающей на конденсаторы, не более +20° С, *кг/ч*	925
Расход охлаждающей воды, *м³/ч*	230
Вес машины с насосом, *кг*	370

Пароводяная эжекторная холодильная машина 8-Э имеет холодопроизводительность холодильной машины 600 000 *ккал/ч* при температуре рабочей воды +8°. Холодопроизводительность регулируется включением различных групп главных эжекторов и может быть равна 40, 60% или полной производительности.

Машина 8-Э состоит из горизонтального двухсекционного испарителя, поверхностного главного конденсатора, десяти параллельно работающих главных эжекторов, двух вспомогательных эжекторов, блока вспомогательных конденсаторов и конденсатного электронасоса.

Холодильный агент	Вода
Расход рабочей воды, *м³/ч*	240
Давление рабочего пара, *кГ/см²*	7
Расход рабочего пара при температуре охлаждающей воды, поступающей на конденсаторы, не более +20° С, *кг/ч*	1 500
Расход охлаждающей воды, *м³/ч*	350
Вес машины, *кг*	5 055

Пароводяная эжекторная холодильная машина 11-Э имеет холодопроизводительность 1 000 000 *ккал/ч* при температуре рабочей воды +13° С. Холодопроизводительность регулируется количеством включенных главных эжекторов и может быть равна половине или полной производительности. Машина 11-Э состоит из вертикального двухсекционного испарителя, смешивающего барометрического конденсатора, шести главных эжекторов, воздушных эжекторов I и II ступеней, вспомогательного смешивающего барометрического конденсатора.

Холодильный агент	Вода
Расход рабочей воды, *м³/ч*	125
Давление рабочего пара перед соплами главных эжекторов, *кГ/см²*	1
Расход рабочего пара на главные эжекторы не более, *кГ/ч*	7 400
Давление рабочего пара перед соплами вспомогательных эжекторов, *кГ/см²*	7
Расход рабочего пара на вспомогательные эжекторы не более, *кг/ч*	400
Предельная температура охлаждающей воды, ° С	+38
Расход охлаждающей воды на конденсаторы, *м³/ч*	740
Вес машины, *кг*	5 400

4-4. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ УСТАНОВОК РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА МЕТОДОМ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Установки для разделения воздуха применяют для получения жидкого и газообразного кислорода, чистого азота и для очистки сырого аргона и криптонового концентрата. Изготовляют: Балашихинский завод кислородного машиностроения, одесский завод «Автогенмаш», Московский завод кислородного машиностроения и др.

В табл. 4-12 приводятся технические характеристики конденсаторов, которые служат для испарения жидкого кислорода за счет отдачи теплоты конденсации азота. В зависимости от условий работы установки жидкие кислород и азот могут быть направлены соответственно или в трубы, или в межтрубное пространство.

Для изготовления конденсаторов используется латунь марки Л62 и медные трубки из меди М3.

Охлаждение воздуха холодом обратного потока азота или кислорода осуществляется в регенераторах, технические характеристики которых приведены в табл. 4-13.

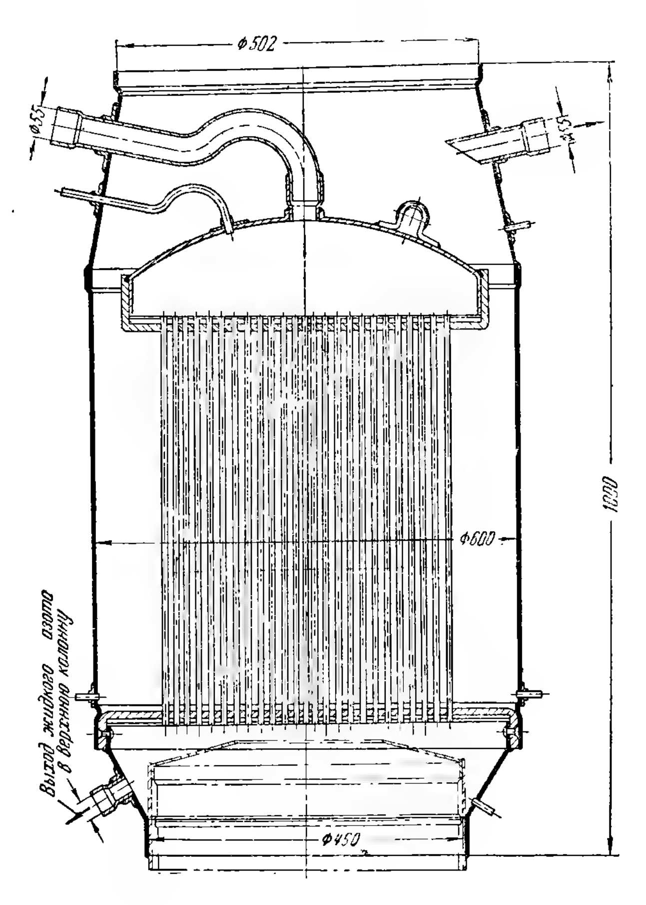


Рис. 4-5. Кислородно-азотный конденсатор

Таблица 4-12

Конденсаторы (рис. 4-5)

Технические характеристики	Производительность конденсатора, *нм³/ч*				
	100	1 000	3 600	3 600 (выносной)	1 500
Поверхность теплообмена, $м^2$	21	220	640	243	650
Тепловая нагрузка, *ккал/ч*	30 000	300 000	850 000	200 000	720 000
Рабочее давление, *ата*:					
в трубах	До 6	До 6	До 6	До 1,7	До 1,7
между трубами	До 1,7	До 1,7	До 1,7	До 6	До 6
Разность температур между азотом и кислородом, *град*	2—3	2—3	2—3	2—3	2—3
Диаметр труб, *мм*	8×0,5	8×0,5	8×0,5	10×1	10×0,5

Корпуса регенераторов изготавливают из Ст. 3 и наполняют алюминиевой насадкой в виде дисков из спирально скатанных алюминиевых рифленых лент (рис. 4-7).

Таблица 4-13

Регенераторы (рис. 4-6)

Внутренний диаметр регенератора, *мм*	Характеристика насадки			Температура воздуха, *град.*		Температура азота и кислорода на входе, *град абс.*	Пропускная способность, *нм³/ч*
	Поверхность, $м^2$	Толщина ленты, *мм*	Высота ленты, *мм*	на входе	на выходе		
700	2 060	0,46	34	20—30	100—102	93—96	3 500—4 000
1 400	8 465	0,46	34/50	20—30	100—102	93—96	12 000—16 000
2 400	24 900	0,46	60	20—30	100—102	95—97	

В табл. 4-14 приведены технические характеристики подогревателей азота и воздуха, основных теплообменных аппаратов и переохладителей жидких азота и воздуха. Теплообменные аппараты-подогреватели применяют для повышения температуры жидкого азота или воздуха за счет теплообмена с горячей водой или с потоком петлевого воздуха. Эти теплообменники представляют собой

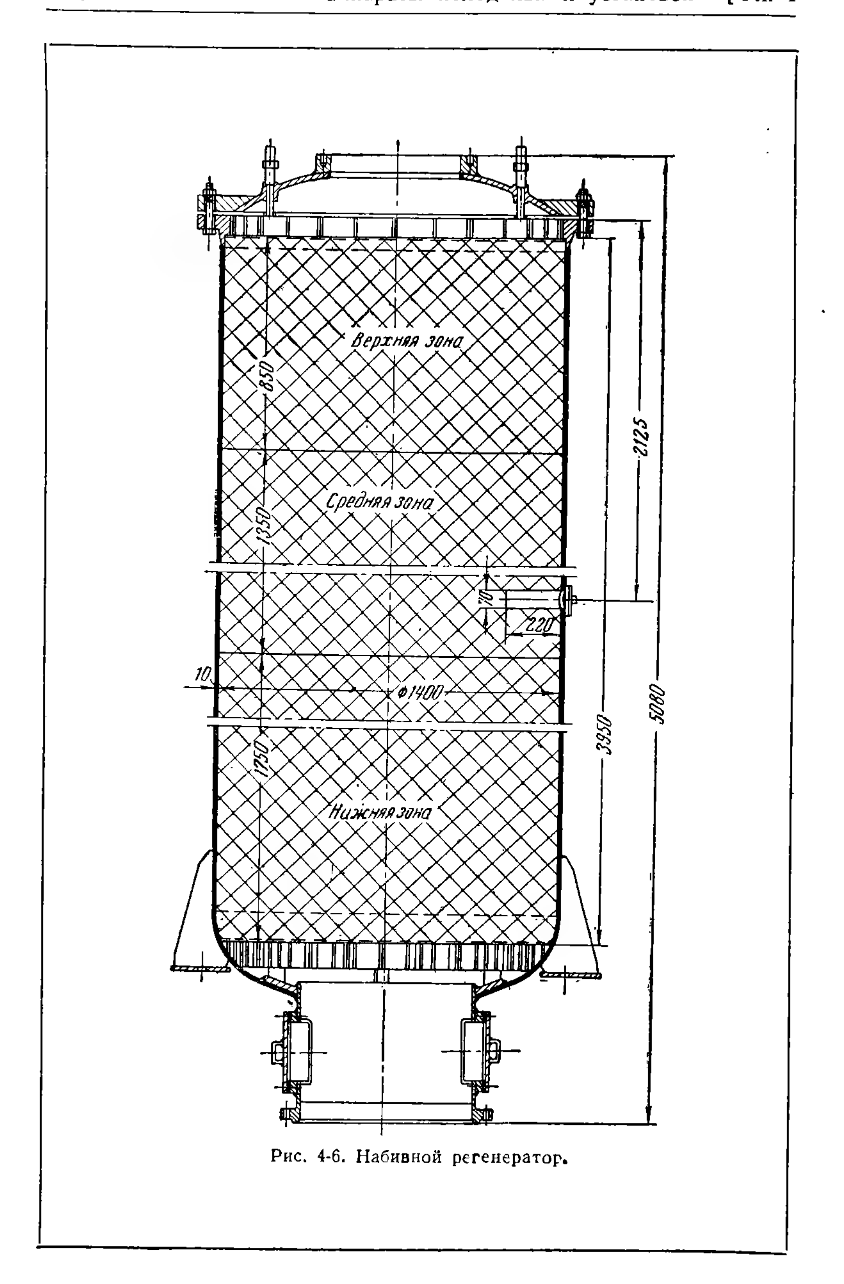


Рис. 4-6. Набивной регенератор.

прямотрубные аппараты. На изготовление аппаратов идет медь М3, латунь Л62 и ЛЖМц, 59-1-1 и сталь Ст. 3.

Основные теплообменные аппараты предназначены для охлаждения воздуха высокого давления холодным азотом. Воздух в аппаратах движется по трубам снизу вверх, а азот идет противотоком в межтрубном пространстве. Характерная особенность аппаратов этого типа — поверхность теплообмена в виде змеевиков из медных труб. Материалом для изготовления основных теплообменников служит медь М3, латунь Л62 и ЛЖМц 59-1-1, Сталь 10.

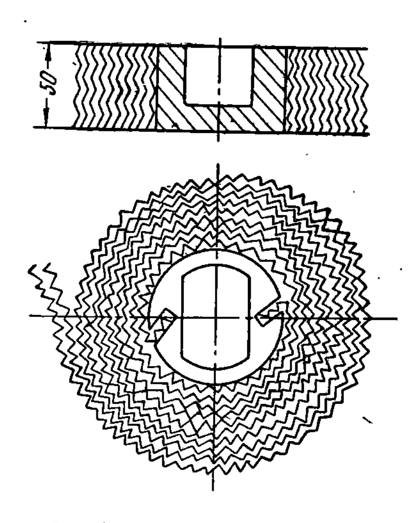


Рис. 4-7. Набивка регенератора.

Переохладители жидкого азота и воздуха используют для переохлаждения обогащенного жидкого воздуха или азота, а также для подогревания газообразного азота.

Теплообменные аппараты этого типа выполняют двухсекционными по высоте с витыми трубами. Материалы для изготовления переохладителей те же, что и для основных теплообменных аппаратов.

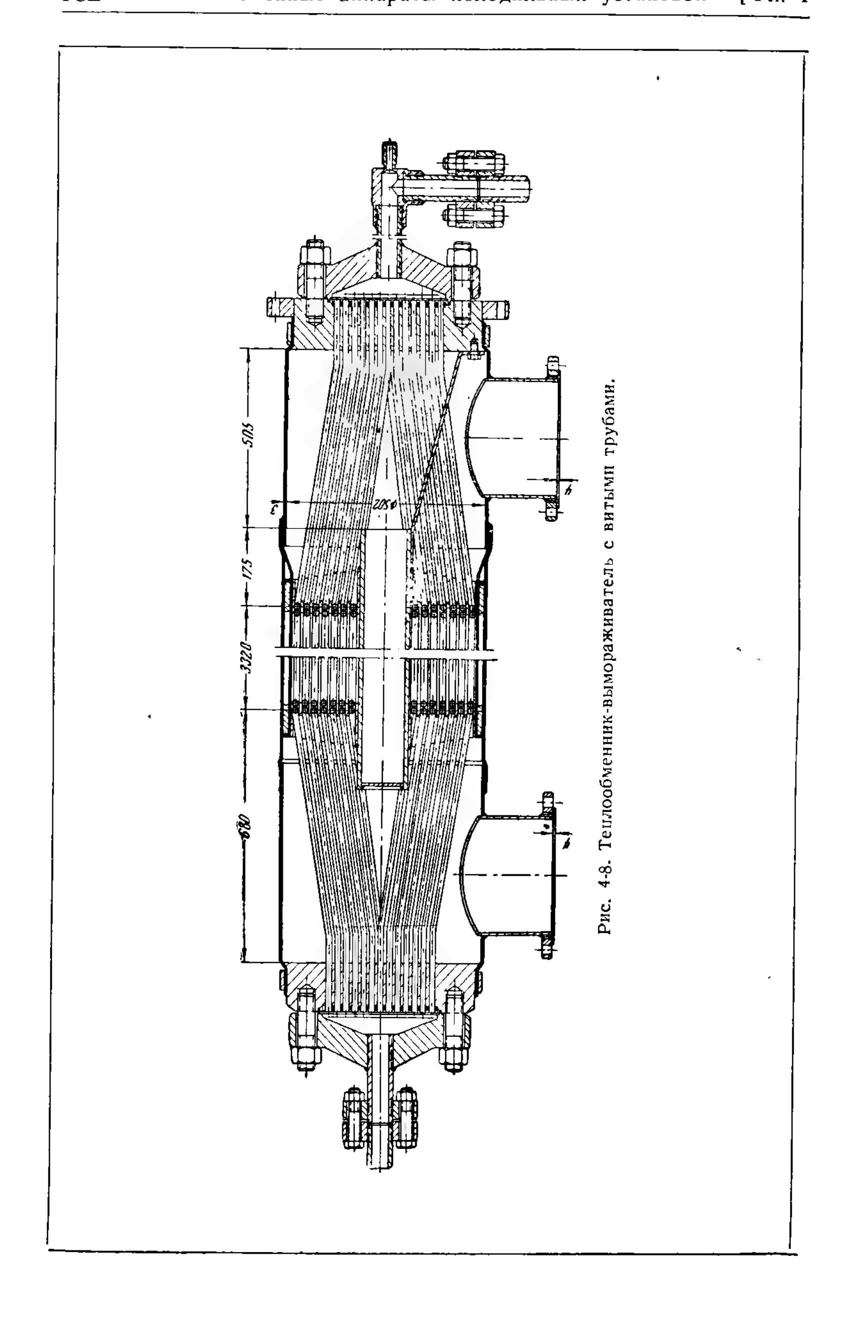


Рис. 4-8. Теплообменник-вымораживатель с витыми трубами.

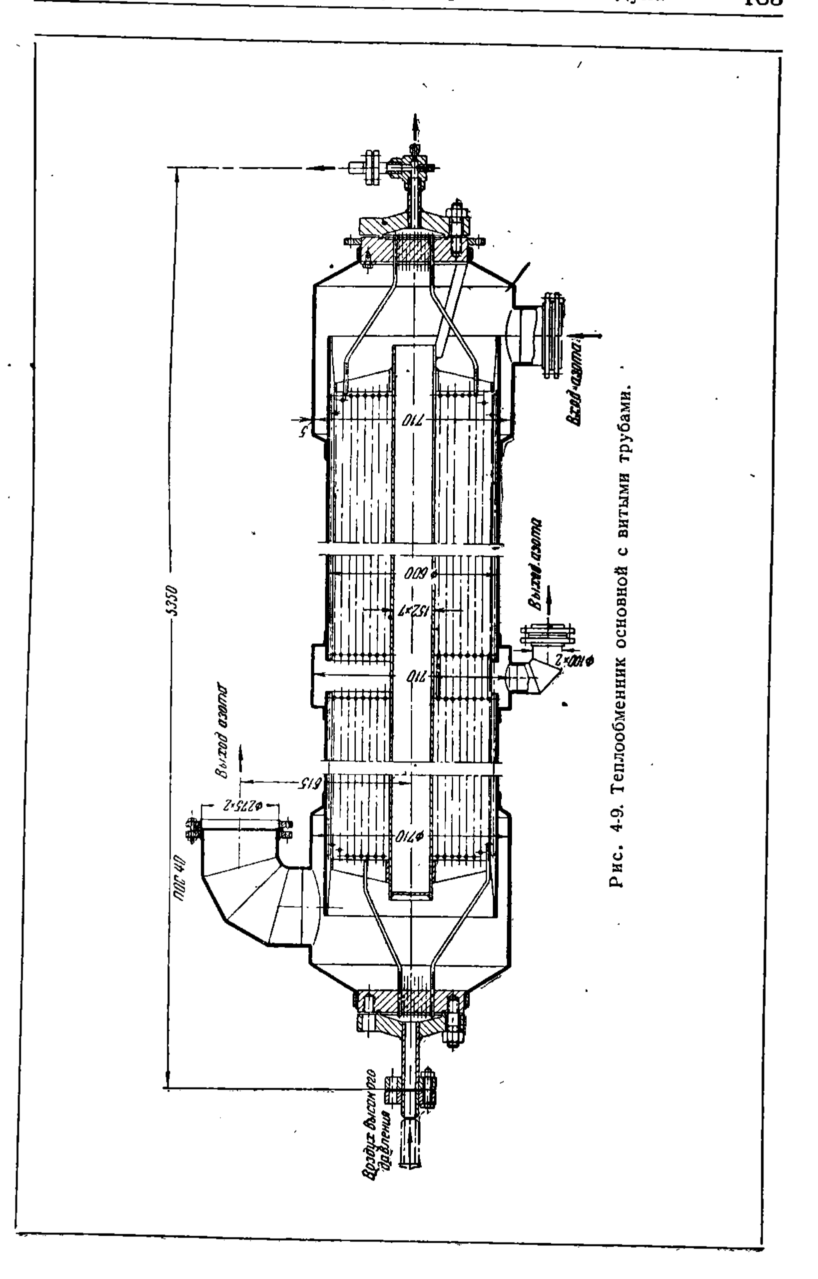


Рис. 4-9. Теплообменник основной с витыми трубами.

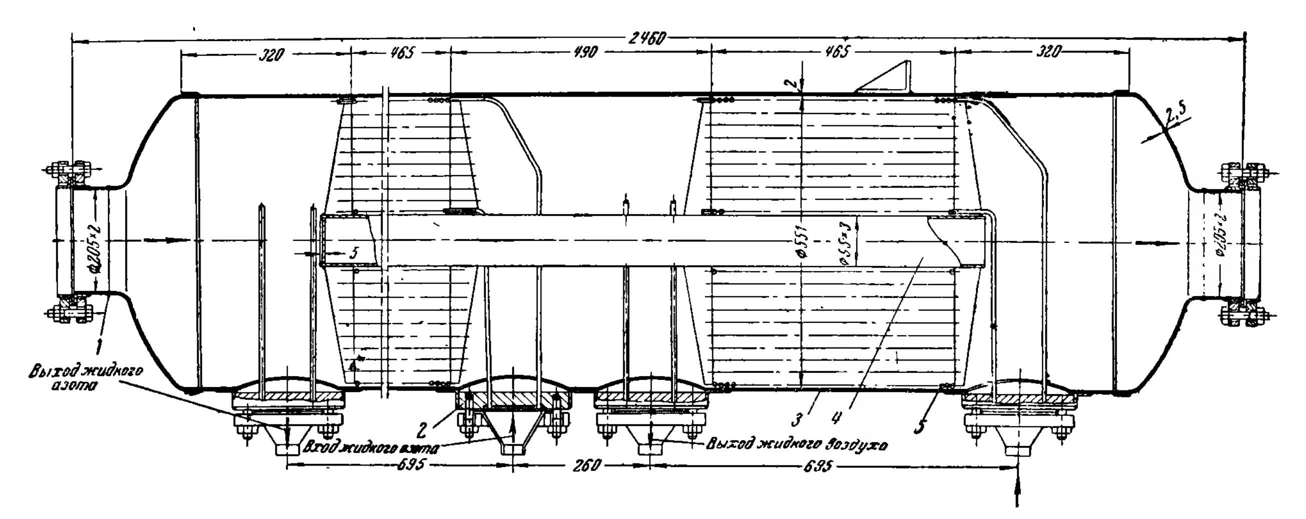


Рис. 4-10. Переохладитель жидкого азота.

Таблица 4-14

Теплообменные аппараты (рис. 4-8, 4-9, 4-10)

Наименование аппарата	Тип аппарата	Производительность, *ккал/ч*	Поверхность теплообмена, $м^2$	Давление, $кГ/см^2$	
				в трубах	в межтрубном пространстве
Подогреватель азота[1]	Прямотрубный	$90 \cdot 10^3$—$115 \cdot 10^3$	70	До 6	1,7
Подогреватель воздуха[1]	То же	$90 \cdot 10^3$—$115 \cdot 10^3$	190	До 6	6
Подогреватель воздуха[1]	То же	$900 \cdot 10^3$—$1\,000 \cdot 10^3$	45	До 6	6
Теплообменный аппарат основной	С витыми трубами	5 800	6	150—200	1,2—1,3
		$40 \cdot 10^3$—$50 \cdot 10^3$	42	150—200	1,7
		157 000	180	150—200	1,1—1,2
Переохладитель жидкого азота и воздуха	С витыми трубами	9 000	54	5,8	1,7
		58 000	155	До 6	1,7
		$53 \cdot 10^3$—$67 \cdot 10^3$	700	До 6	1,7
Теплообменный аппарат, вымораживатель влаги	С витыми трубами	95 000	60	150—200	1,1—1,2
Аммиачный холодильник воздуха высокого давления	С витыми трубами	50 000	19	150—200	1,4

[1] Устанавливается перед регенератором-турбодетандером для обогрева установки.

Таблица 4-1

Теплообменные аппараты

Наименование аппарата	Расход, $м^3/ч$		Температура воздуха, *град. абс.*		Температура азота, *град абс.*		Примечание
	воздуха	азота	на входе	на выходе	на входе	на выходе	
Подогреватель азота	$11 \cdot 10^3$—$14 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$—$24 \cdot 10^3$	155—160	130—140	92—94	108—190	Данные относятся к воздуху в межтрубном пространстве
Подогреватель воздуха	$15 \cdot 10^3$—$19 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$—$14 \cdot 10^3$	101—103	115—116	130—134	109—112	
Подогреватели воздуха	$12 \cdot 10^3$—$15 \cdot 10^3$	—	103	60—70	—	—	Данные для воздуха в трубах
Теплообменный аппарат основной	800 400—500 1 900	165 400—600 4 000	228 300 243—245	214 120—125 95—96	103 92—94 91—92	223 290 193—195	—
Переохладитель жидкого азота и воздуха	— — —	— — —	99—101 95—97 99—101	95—97 84—85 95—97	95—97 80—81 95—97	89—91 93—94 83—85	Данные относятся к жидкому азоту Данные для газообразного азота
Теплообменный аппарат вымораживатель влаги	6 000	3 500	274—276	243—245	193—195	255—256	—
Аммиачный холодильник высокого давления	2 400	—	—	—	—	—	—

ГЛАВА ПЯТАЯ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

5-1. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ГОЛОВКОЙ (НОРМАЛЬ Н458-53)

Теплообменные аппараты с плавающей головкой изготовляют одинарными и сдвоенными (рис. 5-1). Для увеличения турбулизации теплоносителя в межтрубном пространстве устанавливают поперечные перегородки (рис. 5-2). В перегородках первого типа турбулизация потока достигается за счет резкого увеличения скорости в кольцевых зазорах между отверстиями в перегородках и трубками. Перегородки второго типа делают с секторным вырезом, что позволяет получить спиральный поток среды в межтрубном пространстве.

По потоку среды теплообменные аппараты с плавающей головкой обычно одноходовые по межтрубному пространству; по трубным пучкам — двухходовые при диаметре корпуса теплообменного аппарата 325 и 478 *мм* и двух- или четырехходовые при диаметре корпуса 529, 630 и 720 *мм*. Все сдвоенные теплообменные аппараты — двухходовые по трубному пучку. Трубные пучки набирают из стальных трубок диаметром 25×2,5 *мм* длиной 6,0 *м* из стали 10 по ГОСТ 801-50. Разбивку отверстий в трубных решетках осуществляют по квадрату с шагом 32 *мм*.

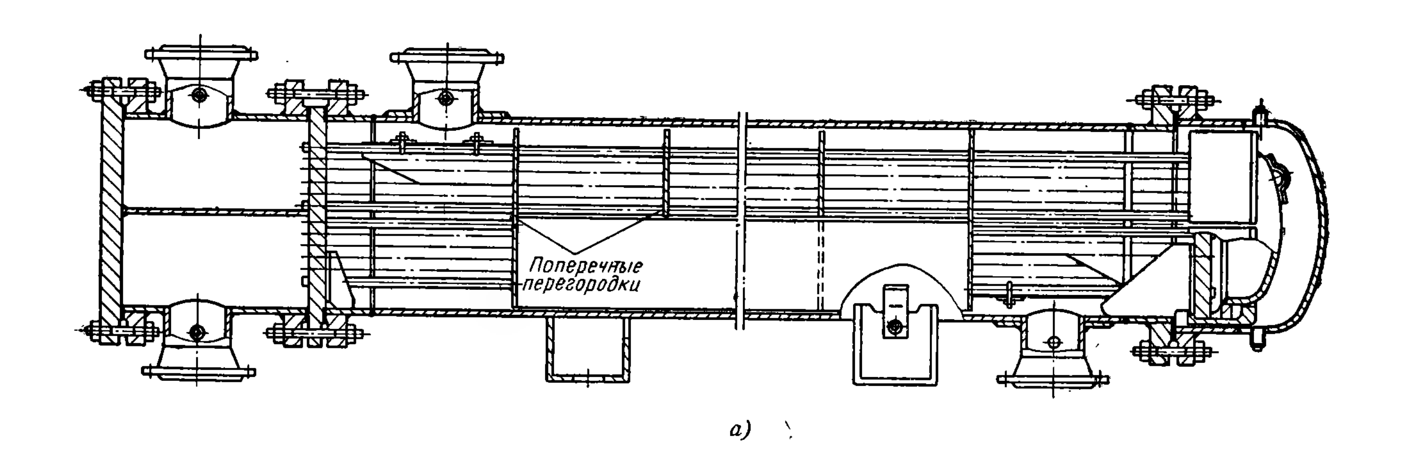
Теплообменные аппараты с плавающей головкой предназначены для нагрева или охлаждения нефтепродуктов в жидком или парообразном состоянии. Предельные рабочие давления в них в зависимости от температуры теплоносителей приведены в табл. 5-1.

Таблица 5-1

Предельные рабочие давления в трубном пучке в теплообменных аппаратах с плавающей головкой, *кГ/см²*

Условное давление, *кГ/см²*	Пробное давление водой при температуре ниже 100° С, *кГ/см²*	Температура среды, °С				
		до 200	до 250	до 300	до 350	до 400
16	20	16	15	13	12	10
25	31,5	25	23	20	18	16
40	50	40	37	33	30	28

Теплообменные аппараты, предназначенные для работы при температуре среды от 200 до 400° С, изготовляют из спокойной стали. Детали теплообменных аппаратов с толщиной стенки до 26 *мм*, предназначенных для работы при температурах до 200° С, можно изготовлять из кипящей стали.



а)

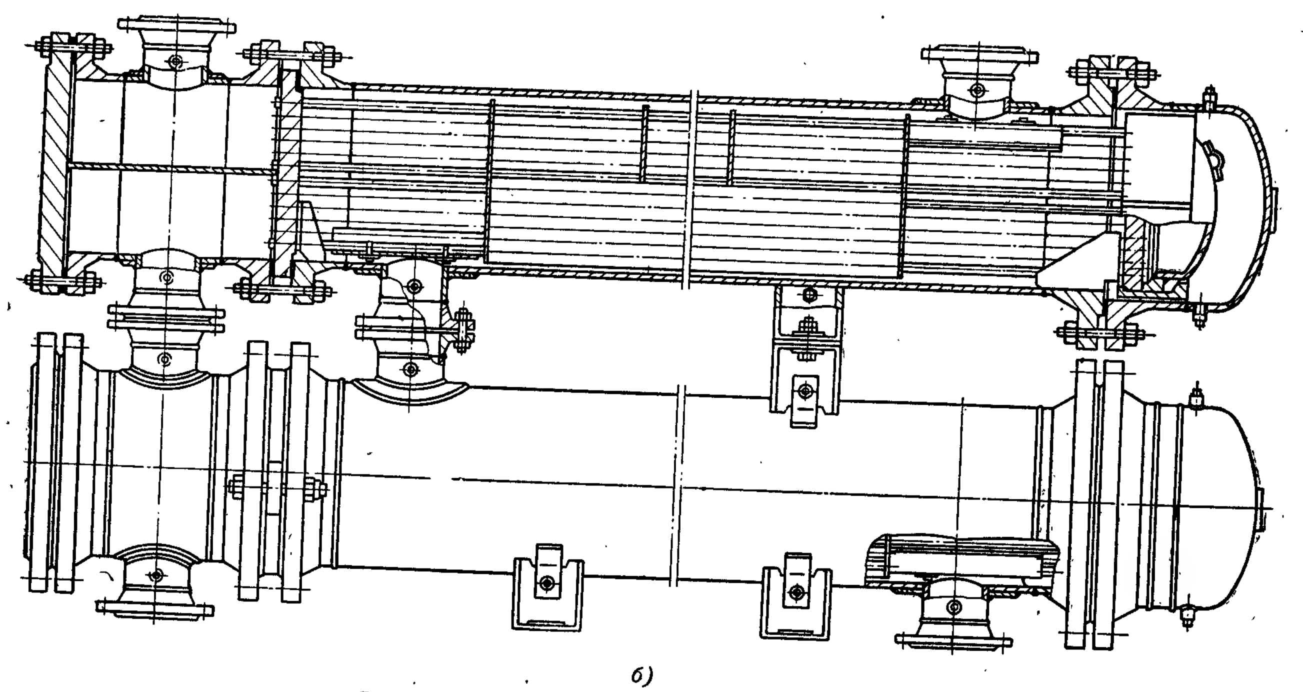


Рис. 5-1. Теплообменные аппараты с плавающей головкой.
а — однинарный; *б* — сдвоенный.

Теплообменники из углеродисто

Условное обозначение теплообменника	Номер спецификации	Наружный диаметр корпуса, *мм*	Тип теплообменного аппарата	Поверхность нагрева, $м^2$
325-16-21-2-тII	СН-5561	325	Одинарный	21
325-16-21×2-2-тII	СН-5588		Сдвоенный	21×2=42
325-40-21-2-тII	СН-5584		Одинарный	21
325-40-21×2-2-тII	СН-5597		Сдвоенный	21×2=42
478-16-53-2-тII	СН-5484	478	Одинарный	53
478-16-53×2-2-тII	СН-5519		Сдвоенный	53×2=106
478-40-53-2-тII	СН-5574		Одинарный	53
478-40-53×2-2-тII	СН-5567		Сдвоенный	53×2=106
529-16-70-2-тI	СН-5531	529	Одинарный	70
529-16-70-4-тI	СН-5553		То же	70
529-16-70-2-тII	СН-5450		То же	70
529-16-70-4-тII	СН-5547		Одинарный	70
529-16-60×2-2-тI	СН-5532		Сдвоенный	70×2=140
529-16-70×2-2-тII	СП-5451		То же	70×2=140
529-25-70-2-тI	СН-5448	529	Одинарный	70
529-25-70-4-тI	СН-5473		То же	70
529-25-70-2-тII	СН-5379		То же	70
529-25-70-4-тII	СН-5470		Одинарный	70
529-25-70×2-2-тI	СН-5481		Сдвоенный	70×2=140
529-25-70×2-2-тII	СН-5440		То же	70×2=140
630-25-100-2-тI	СН-5599	720	Одинарный	100
630-25-100-4-тI	СН-5601		То же	100
630-25-100-2-тII	СН-5478		То же	100
630-25-100-4-тII	СН-5598		То же	100
630-25-100×2-2-тI	СН-5600		Сдвоенный	100×2=20
630-25-100×2-2-тII	СН-5548		То же	100×2=20
720-16-130-2-тI	СН-5398	720	Одинарный	130
720-16-130-4-тI	СН-5400		То же	130
720-16-130-2-тII	СН-5399		То же	130
720-16-130-4-тII	СН-5401		Одинарный	130
720-16-130×2-2-тI	СН-5464		Сдвоенный	130×2=26
720-16-130×2-2-тII	СН-5506		То же	130×2=26

Таблица 5-2

стали с плавающей головкой

Условное давление, $кГ/см^2$	Количество ходов по трубному пучку	Тип перегородок	Длина, *мм*	Диаметр крышки, *мм*	Высота, *мм*	Общий чистый вес, *кг*
16	2	II	6 742	520	585	1 213
			6 742	520	1 172	2 437
40			6 789	570	585	1 589
			6 789	570	1 172	3 194
16	2	II	6 806	705	778	2491,2
			6 806	705	1 558	5002,6
40			6 978	755	778	3 425
			6 978	755	1 558	6868,6
16	2	I	6 825	775	890	2 968
	4	I		775	890	2 990
	2	II		775	890	3 004
	4	II		775	890	3 026
	2	I		775	1 782	5 953
	2	II		775	1 782	6 026
25	2	I	6 830	785	890	3 445
	4	I			890	3 466
	2	II			890	3 478
	4	II			890	3 498
	2	I			1 782	6 908
	2	II			1 782	6 975
16	2	I	7 129	955	990	4 845
	4	I			990	4 884
	2	II			990	4 885
	4	II			990	4 924
	2	I			1 982	9714,3
	2	II			1 982	9 795
16	2	I	7 146	1 020	1 080	5352,6
	4	I			1 080	5395,4
	2	II			1 080	5 394
	4	II			1 080	5436,7
	2	I			2 162	10 730
	2	II			2 162	10 813

Теплообменные аппараты с плавающей головкой, изготовляемые в соответствии с нормальным рядом, в котором установлена зависимость между наружным диаметром корпуса аппарата, условным давлением в межтрубном пространстве и трубном пучке и поверхностью нагрева, имеют условное обозначение, в котором первое число — диаметр корпуса, *мм*; второе число — условное давление, *кГ/см*^{2}; третье число — поверхность теплообмена, *м*^{2}; четвертое число — количество ходов по трубному пучку и в конце — условное обозначение типа перегородок. Например, теплообменный аппарат

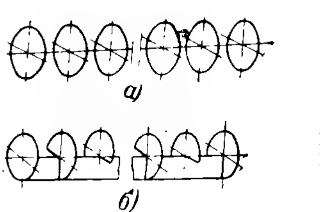


Рис. 5-2. Типы поперечных перегородок в межтрубном пространстве.
а—тип первый; *б*—тип второй.

с плавающей головкой с диаметром корпуса 325 *мм* на условное давление 40 *кГ/см*^{2}, сдвоенный, имеющий поверхность нагрева 21×2 *м*^{2}, двухходовой по трубному пучку с перегородками типа II с температурой среды 300° С будет иметь следующее условное обозначение:

Теплообменный аппарат 325-40-21×2-2-тII; $t \leqslant 400°$ С.

В нормализованном ряду приняты теплообменные аппараты со следующими поверхностями теплообмена: 21, 35, 53, 65, 70, 100 и 130 *м*^{2}. В сдвоенных теплообменных аппаратах поверхность теплообмена в 2 раза больше указанных величин. Технические характеристики теплообменников нормального ряда из углеродистой стали с плавающей головкой приведены в табл. 5-2.

При заказе необходимо указывать номер спецификации (СН) для изготовления деталей теплообменника.

5-2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С U-ОБРАЗНЫМ ТРУБНЫМ ПУЧКОМ

Теплообменные аппараты с U-образным трубным пучком используют в тех случаях, когда среда, протекающая в трубках, не дает отложений на них. Конструкция теплообменных аппаратов с U-образными трубками проще, чем теплообменных аппаратов с плавающей головкой. Трубный пучок теплообменных аппаратов с U-образными трубками также может свободно перемещаться в осевом направлении и, следовательно, разгружен от тепловых напряжений.

Центральным конструкторским бюро по нефтеаппаратуре в соответствии с нормалью Гипронефтемаша разработан нормальный ряд теплообменных аппаратов с U-образными трубными пучками. Согласно этому ряду предусматривается изготовление двух типов

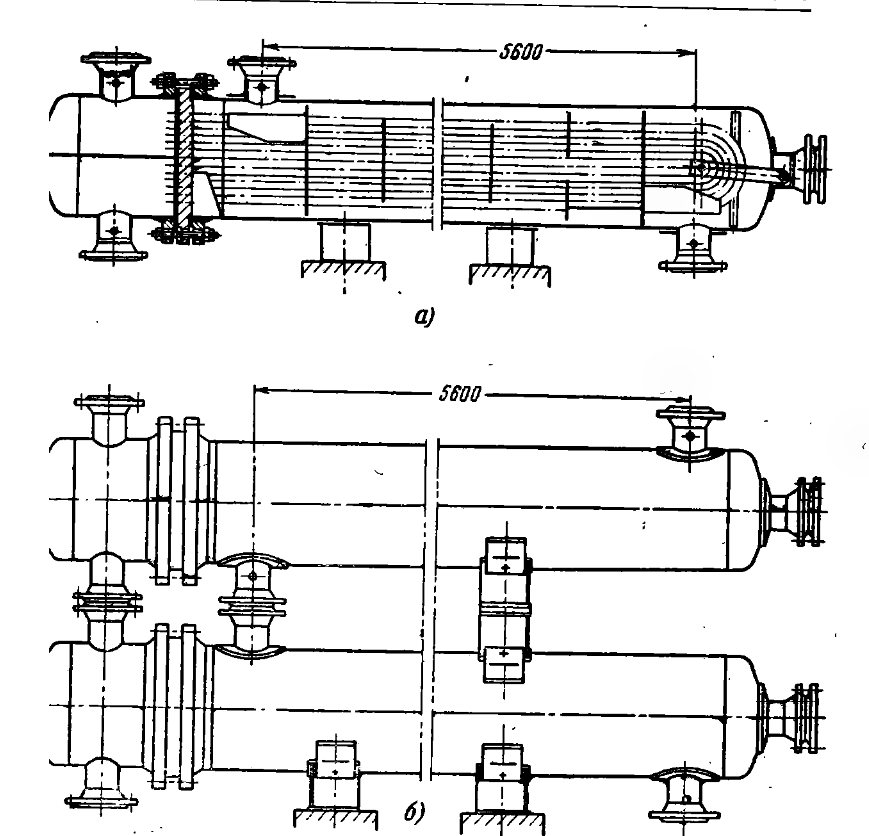


Рис. 5-3. Горизонтальные теплообменные аппараты с U-образными трубными пучками.
а — одинарный; *б* — сдвоенный.

ıппаратов: теплообменные аппараты, изготавливаемые полностью из ˌуглеродистой стали, и теплообменные аппараты, изготавливаемые из ˌуглеродистой стали с трубными решетками и трубками из стали Х5М.

Теплообменные аппараты с U-образными трубными пучками ıогут быть одинарными или сдвоенными (рис. 5-3). Приняты слеˌдующие нормализованные поверхности теплообмена: 19, 55, 70, 100 ı 140 *м*². В сдвоенных теплообменных аппаратах поверхность теплоˌобмена в 2 раза больше против указанных величин.

По потоку среды теплообменные аппараты с U-образным трубˌным пучком одноходовые по межтрубному пространству, а по пучˌку — двухходовые. Турбулизация потока в межтрубном пространстве ˌостигается установкой перегородок, форма и схема расположения ˌоторых показана на рис. 5-4. Трубные пучки набирают из трубок

диаметром 25×2,5 *мм*. Длина прямого участка трубок 6 *м*. Разбивка отверстий в трубных досках осуществляется по квадрату, что облегчает чистку межтрубного пространства.

В зависимости от температуры рабочей среды устанавливают предельные рабочие давления в теплообменных аппаратах, которые,



Рис. 5-4. Форма поперечных перегородок и схема их расположения в теплообменном аппарате с U-образным трубным пучком.

как и для теплообменных аппаратов с плавающей головкой, могут быть определены по табл. 5-1.

Детали аппаратов с толщиной стенки менее 26 *мм*, предназначенные для работы при температурах до 200° С, изготовляют из кипящей стали. Во всех остальных случаях детали изготовляют из спокойной стали.

В условном обозначении типоразмера первое число обозначает диаметр корпуса, *мм*; второе—условное давление, *кГ/см*²; третье — поверхность нагрева, *м*²; четвертое — число ходов. Последняя буква является шифром типа трубного пучка. Для пучка из углеродистой стали шифр U; для пучка из легированной стали — Uл. Кроме того, указывается предельная температура рабочей среды, при которой должен работать аппарат. Например, для теплообменного аппарата из углеродистой стали диаметром 325 *мм* на условное давление 16 *кГ/см*², одинарного, поверхностью нагрева 19 *м*², двухходового по трубному пучку, с U-образным трубным пучком из легированной стали, с температурой рабочих сред до 200° С условное обозначение будет следующим: Теплообменный аппарат 325-16-19×2-Uл; $t \leqslant 200°$ С. При заказе необходимо указывать номер спецификации деталей (СН).

Технические характеристики теплообменных аппаратов с U-образными трубными пучками из углеродистой стали приведены в табл. 5-3 с U-образным трубным пучком из легированной стали Х5М — в табл. 5—4.

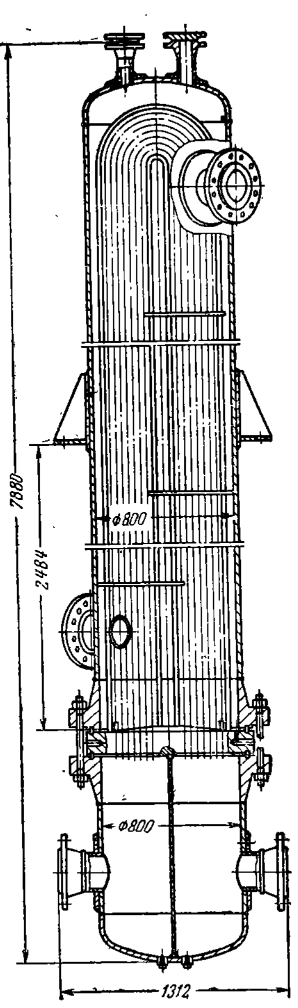


Рис. 5-5. Вертикальный теплообменный аппарат с U-образными трубками.

Нормальным рядом предусматривается изготовление горизонтальных теплообменных аппаратов. По специальному заказу могут быть изготовлены вертикальные аппараты с U-образными трубками.

Техническая характеристика вертикального теплообменного аппарата, изображенного на рис. 5-5

Поверхность нагрева, $м^2$	150
Диаметр трубок	25×3 *мм*
Число трубок	150 шт.
Рабочие условия:	
давление, $кГ/см^2$	
в корпусе	50
в трубном пучке	40
Температура, °С:	
в корпусе	425
в трубном пучке	500
Среда	Коррозионная
Габаритные размеры, *мм*:	
диаметр	800
высота	7 880
Вес металла, *т*	9,6

5-3. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С ПАРОВЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

Подогреватели с паровым пространством предназначаются для частичного испарения боковых погонов и остатков с низа ректификационных колонн. Как во всех испарителях, при нормальном режиме работы в корпусе аппарата поддерживается определенный уровень жидкости, над которым имеется паровое пространство. Греющим теплоносителем в этих теплообменных аппаратах является водяной пар или подлежащие охлаждению горячие нефтепродукты. Греющий теплоноситель всегда проходит по трубкам.

Теплообменные аппараты с паровым пространством изготовляют в соответствии с нормальным рядом, разработанным ЦКБН на основании нормали Гипронефтемаша, в котором установлена зависимость между внутренним диаметром корпуса, поверхностью нагрева и условным давлением в корпусе и трубном пучке.

В зависимости от конструкции трубных пучков различают два типа подогревателей с паровым пространством:

подогреватели, трубные пучки которых имеют плавающую головку;

подогреватели, трубные пучки которых имеют U-образные трубки.

Разбивка отверстий в трубных решетках, как в том, так и в другом типе подогревателей может осуществляться либо по квадрату, либо по треугольнику,

Таблица 5-3

Теплообменные аппараты с U-образными трубными пучками из углеродистой стали

Условное обозначение	Номер спецификации деталей	Тип теплообменного аппарата	Наружный диаметр корпуса, *мм*	Габариты, *мм*			Общий чистый вес, *кг*
				Длина	Ширина	Высота	
325-16-19-2-U	СН-6879	Одинарный	325	6 900	460	585	972
325-16-19×2-2-U	СН-6881	Сдвоенный				1 172	1 955
325-40-19-2-U	СН-6883	Одинарный	325	6 928	510	585	1 188
325-40-19×2-2-U	СН-6885	Сдвоенный				1 172	2 393
478-16-55-2-U	СН-6887	Одинарный	478	7 089	640	778	2 103
478-16-55×2-2-U	СН-6889	Сдвоенный				1 558	4 219
478-40-55-2-U	СН-6891	Одинарный	478	7 160	680	778	2 702
478-40-55×2-2-U	СН-6893	Сдвоенный				1 558	5 423
529-16-70-2-U	СН-6895	Одинарный	529	7 128	705	890	2 487
529-16-70×2-2-U	СН-6897	Сдвоенный				1 782	4 990
529-25-70-2-U	СН-6899	Одинарный	529	7 128	730	890	2 853
529-25-70×2-2-U	СН-6901	Сдвоенный				1 782	5 726
630-25-100-2-U	СН-6903	Одинарный	630	7 282	840	990	4 100
630-25-100×2-2-U	СН-6905	Сдвоенный				1 982	8 225
720-16-140-2-U	СН-6907	Одинарный	720	7 320	910	1 080	4 594
720-16-140×2-2-U	СН-6909	Сдвоенный				2 162	9 214

Таблица 5-4

Теплообменные аппараты с U-образными трубными пучками из легированной стали

Условное обозначение	Номер спецификации деталей	Тип теплообменного аппарата	Наружный диаметр корпуса	Габариты, *мм*			Общий чистый вес, *кг*
				Длина	Ширина	Высота	
325-16-19-2-$U_л$	СН-6880	Одинарный	325	6 908	460	585	976
325-16-19×2-2-$U_л$	СН-6882	Сдвоенный		6 908	460	1 172	1 964
325-40-19-2-$U_л$	СН-6884	Одинарный		6 928	510	585	1 183
325-40-19×2-2-$U_л$	СН-6886	Сдвоенный		6 928	510	1 172	2 385
478-16-55-2-$U_л$	СН-6888	Одинарный	478	7 089	640	778	2 088
478-16-55×2-2-$U_л$	СН-6890	Сдвоенный		7 089	640	1 558	4 191
478-40-55-2-$U_л$	СН-6892	Одинарный		7 152	680	778	2 675
478-40-55×2-2-$U_л$	СН-6894	Сдвоенный		7 152	680	1 558	5 368
529-16-70-2-$U_л$	СН-6896	Одинарный	525	7 123	705	890	2 465
529-16-70×2-2-$U_л$	СН-6898	Сдвоенный		7 123	705	1 782	4 945
529-25-70-2-$U_л$	СН-6900	Одинарный		7 122	730	890	2 824
527-25-70×2-2-$U_л$	СН-6902	Сдвоенный		7 122	730	1 782	5 667
630-25-100-2-$U_л$	СН-6904	Одинарный	630	7 273	840	990	4 051
630-25-100×2-2-$U_л$	СН-6906	Сдвоенный				1 982	8 126
720-16-140-2-$U_л$	СН-6908	Одинарный	720	7 320	910	1 080	4 547
720-16-140×2-2-$U_л$	СН-6910	Сдвоенный				2 162	9 120

Подогреватели могут быть изготовлены либо полностью из углеродистой стали, либо из углеродистой стали с трубными пучками, изготовленными из стали Х5М.

Трубные пучки набирают из трубок диаметром 25×2,5 *мм*, длина которых в трубном пучке с плавающей головкой и прямого участка в U-образных трубках составляет 6 *м*.

Предельные рабочие давления в подогревателях в зависимости от температуры рабочей среды приведены в табл. 5-5.

Таблица 5-5

Предельные рабочие давления для теплообменных аппаратов с паровым пространством, *кГ/см²*

Элемент теплообменного аппарата	Давления условные, *кГ/см*	Пробное давление водой при температуре 100° С, *кГ/см²*	Температура среды, °С				
			до 200	до 250	до 300	до 350	до 400
Корпус	8	11	8	7,4	6,5	—	—
	16	20	16	15	13	—	—
	25	31	25	23	20	—	—
Трубный пучок	16	20	16	15	13	12	10
	25	31	25	23	20	18	16
	40	50	40	37	33	30	28

Условные давления для штуцеров корпусов и распределительных коробок подогревателей приняты в соответствии с условными давлениями в корпусе и пучках, за исключением штуцеров корпусов подогревателей 2400-8/16 и 2400-8/25, где для штуцеров условное давление принято 16 *кГ/см²*.

Подогреватели с паровым пространством нормализованного ряда имеют следующие диаметры корпусов:

с одним трубным пучком — 1 400 и 1 600 *мм*;

с двумя трубными пучками — 2 000 и 2 400 *мм*.

Общие виды подогревателей с паровым пространством с одним трубным пучком приведены на рис. 5-6, а основные технические характеристики их — в табл. 5-6 и 5-7.

В условном обозначении установлена следующая последовательность шифров: тип подогревателя, внутренний диаметр корпуса, полная поверхность теплообмена, далее дробь, числитель которой обозначает условное давление в корпусе, а знаменатель — то же в трубном пучке. Затем указывается предельная температура в корпусе и в трубном пучке. Например, подогреватель с паровым пространством с трубным пучком в виде плавающей головки диаметром корпуса 1 400 *мм*, поверхностью теплообмена 50 *м²* при условном давлении в корпусе 25 *кГ/см²* и в трубном пучке 40 *кГ/см²*, при предельных температурах теплоносителей в корпусе ниже 200° С и в трубном пучке ниже 300° С будет иметь следующее условное обозначение:

$$\text{ПП-1400-50-}\frac{25}{40}; \quad t_{\text{к}} \leqslant 200°\text{ С}; \quad t_{\text{тр.п}} \leqslant 300°\text{ С}.$$

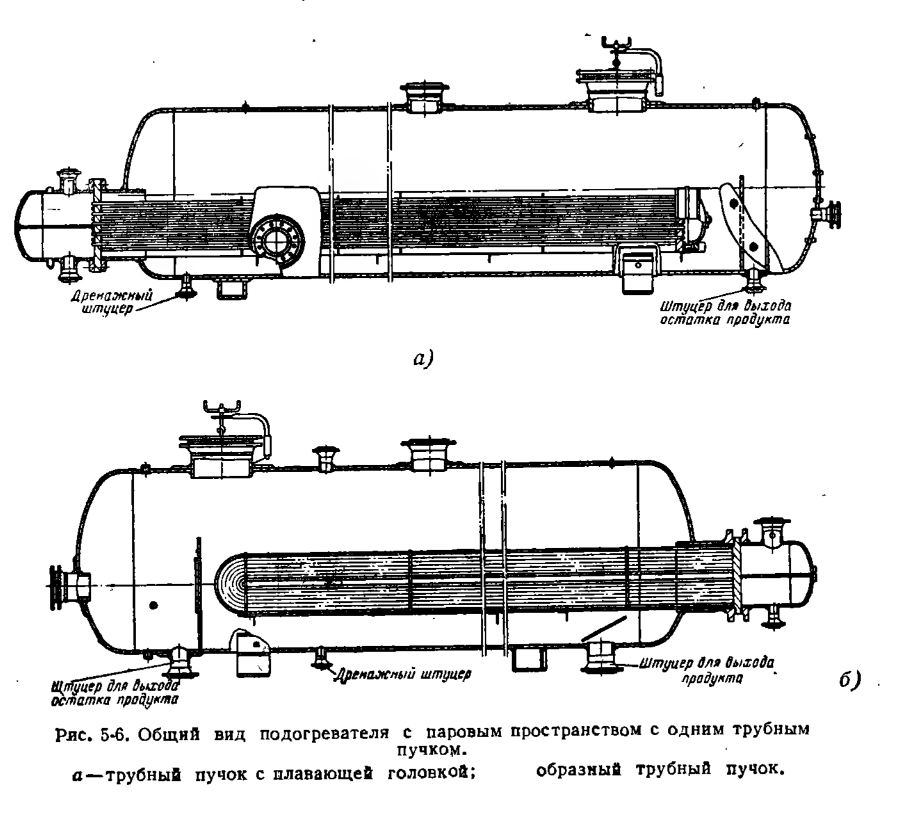


Рис. 5-6. Общий вид подогревателя с паровым пространством с одним трубным пучком.

а — трубный пучок с плавающей головкой; образный трубный пучок.

Подогреватели с паровым пространством

Условное обозначение	Номер спецификации	Диаметр корпуса, *мм*	Толщина стенки корпуса, *мм*
ПП-1400-50-$\frac{16}{16}$	СН-10298 СН-10312	1 400	14
ПП-1400-55-$\frac{16}{16}$	СН-10313 СН-10314		
ПП-1400-50-$\frac{25}{40}$	СН-10300	1400	22
ПП-1400-55-$\frac{25}{40}$	СН-10315		
	СН-10316 СН-10318		
ПП-1400-65-$\frac{16}{25}$	СН-10299 СН-10318	1 400	14
ПП-1400-70-$\frac{16}{25}$	СН-10319 СН-10320		
ПП-1400-65-$\frac{25}{25}$	СН-10294 СН-10321	1 400	22
ПП-1400-70-$\frac{25}{25}$	СН-10322 СН-10323		
ПП-1600-100-$\frac{16}{25}$	СН-10304 СН-10324	1 600	16
ПП-1600-110-$\frac{16}{25}$	СН-10325 СН-10326		

Таблица 5-6

: одним трубным пучком и плавающей головкой

Трубный пучок			Габариты, *мм*			Общий чистый вес, *кг*
Разбивка отверстий в трубной решетке	Количество труб, шт.	Материал труб, сталь марки	Длина	Ширина	Высота	
Квадрат	112	10; Х5М	8 270	1 428	2 180	6 539 6 514 6 609 6 587
Треугольник	121	10; Х5М				
Квадрат	112	10; Х5М	8 340	1 444	2 190	8 977 8 953 9 045 9 021
Треугольник	121	10; Х5М				
Квадрат	136	10; Х5М	8 360	1 428	2 180	7 158 7 130 7 249 7 219
Треугольник	148	10; Х5М				
Квадрат	136	10; Х5М	6 395	1 444	2 190	9 341 9 314 9 432 9 402
Треугольник	148	10; Х5М				
Квадрат	208	10; Х5М	8 430	1 634	2 380	9 406 9 367 9 607 9 561
Треугольник	234	10; Х5М				

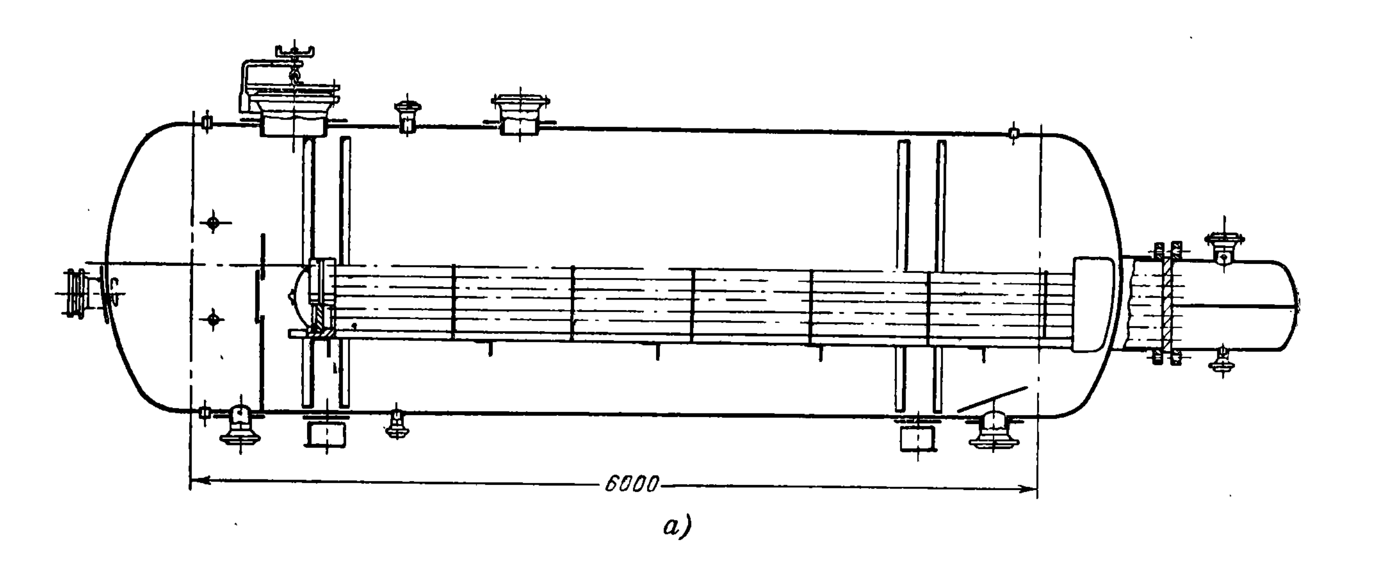
Подогреватели с паровым пространством

Условное обозначение	Номер спецификации	Диаметр корпуса, *мм*	Толщина стенки корпуса, *мм*
ПУ-1400-65-$\frac{16}{16}$	СН-10327 СН-10328	1 400	14
ПУ-1400-65-$\frac{16}{16}$	СН-10329 СН-10330		
ПУ-1400-65-$\frac{25}{40}$	СН-10331 СН-10332	1 400	22
ПУ-1400-65-$\frac{25}{40}$	СН-10333 СН-10334		
ПУ-1400-100-$\frac{16}{25}$	СН-10335 СН-10336	1 400	14
ПУ-1400-105-$\frac{16}{25}$	СН-10337 СН-10338		
ПУ-1400-100-$\frac{25}{25}$	СН-10339 СН-10340	1 400	22
ПУ-1400 105-$\frac{25}{25}$	СН-10341 СН-10342		
ПУ-1600-130-$\frac{16}{25}$	СН-10343 СН-10344	1 600	16
ПУ-1600-145-$\frac{16}{25}$	СН-10345 СН-10346		

Таблица 5-7

ı одним U-образным трубным пучком

Трубный пучок			Габариты, *мм*			Общий чистый вес, *кг*
Разбивка отверстий в трубной решетке	Количество труб, шт.	Материал труб, сталь марки	Длина	Ширина	Высота	
Квадрат	72	10; Х5М	8 275	1 428	2 180	6 701 6 677
Треугольник	78	10; Х5М				6 801 6 775
Квадрат	68	10; Х5М	8 350	1 444	2 190	9 063 8 929
Треугольник	72	10; Х5М				9 149 9 094
Квадрат	104	10; Х5М	8 365	1 428	2 180	7 638 7 599
Треугольник	112	10; Х5М				7 770 7 731
Квадрат	104	10; Х5М	8 395	1 444	2 190	9 820 9 782
Треугольник	112	10; Х5М				9 952 9 913
Квадрат	142	10; Х5М	8 445	1 632	2 380	9 912 9 846
Треугольник	152	10; Х5М				10 075 10 004



a)

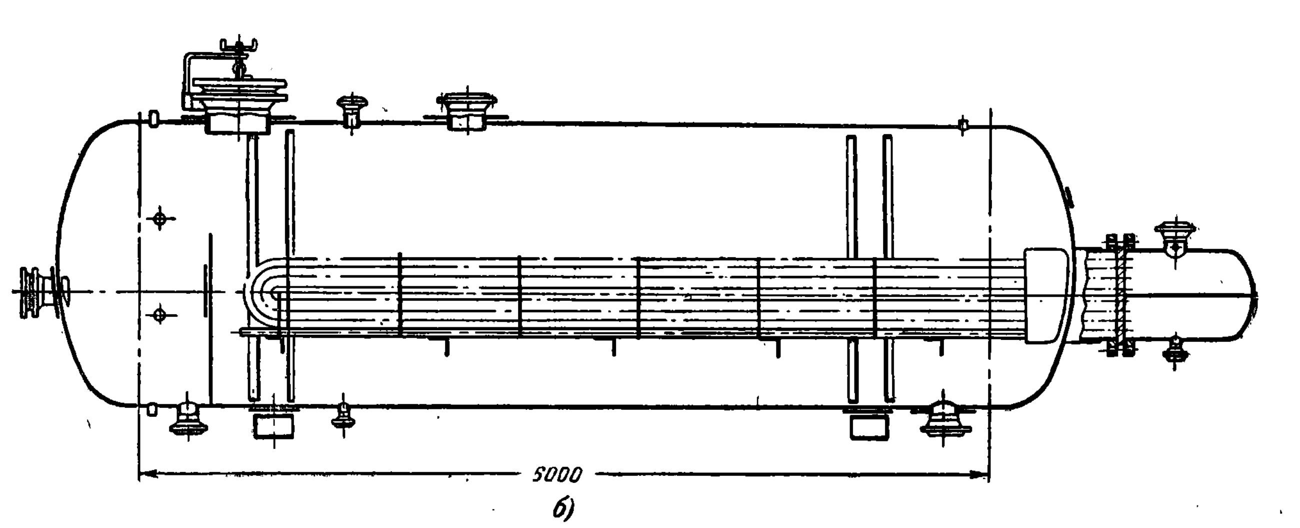


Рис. 5-7. Подогреватели с паровым пространством с двумя трубными пучками.
а — трубные пучки с плавающими головками; б — U-образные трубные пучки.

Таблица 5-8

Подогреватели с паровым пространством и двумя трубными пучками с плавающими головками

Условное обозначение подогревателя	Номер перечня спецификации	Расстояние между горловинами, *мм*	Расстояние от оси горловины до оси аппарата, *мм*	Диаметр, *мм*	Толщина стенки, *мм*	Пучок трубный: Разбивка отверстий в трубной решетке	Пучок трубный: Количество труб в двух пучках, шт.	Пучок трубный: Материал труб, сталь марки	Габариты, *мм*: Длина	Габариты, *мм*: Ширина	Габариты, *мм*: Высота	Общий чистый вес, *кг*
ПП-2000-130-$\frac{16}{25}$	СН-10306 СН-10347	860	200	2 000	20	Квадрат	272	10; Х5М	8 570	2 040	2 785	14 640 14 583
ПП-2000-140-$\frac{16}{25}$	СН-10348 СН-10349					Треугольник	296	10; Х5М				14 823 14 758
ПП-2400-260-$\frac{8}{16}$	СН-10302 СН-10350	1 040	180	2 400	14	Квадрат	560	10; Х5М	8 780	2 428	3 180	17 540 17 427
ПП-2400-300-$\frac{8}{16}$	СН-10351 СН-10352					Треугольник	632	10; Х5М				18 084 17 965
ПП-2400-200-$\frac{8}{25}$	СН-10295 СН-10353	980	220	2 400	14	Квадрат	416	10; Х5М	8 780	2 428	3 180	16 146 16 068
ПП-2400-220-$\frac{8}{25}$	СН-10354 СН-10355					Треугольник	468	10; Х5М				16 549 16 259
ПП-2400-200-$\frac{16}{25}$	СН-10296 СН-10355	1 040	180	2 400	22	Квадрат	416	10; Х5М	8 825	2 414	3 190	20 166 20 088
ПП-2400-220-$\frac{16}{25}$	СН-10357 СН-10358					Треугольник	468	10; Х5М				20 569 20 479

Таблица 5-9

Подогреватели с паровым пространством и двумя U-образными трубными пучками

Условное обозначение подогревателя	Номер перечня спецификаций	Диаметр корпуса, *мм*	Толщина стенки корпуса, *мм*	Расстояние между горловинами, *мм*	Расстояние от оси аппарата до оси горловины, *мм*	Трубный пучок			Габариты, *мм*			Общий чистый вес, *кг*
						Разбивка отверстий в трубной решетке	Количество труб в двух пучках, шт.	Материал труб, сталь марки	Длина	Ширина	Высота	
ПУ-2000-200-$\frac{16}{25}$	СН-10359 СН-10360	2 000	20	860	200	Квадрат	208	10; Х5М	8 570	2 040	2 785	15 602 15 627
ПУ-2000-210-$\frac{16}{25}$	СН-10361 СН-10362					Треугольник	224	10; Х5М				15 866 15 689
ПУ-2400-375-$\frac{8}{16}$	СН-10363 СН-10364	2 400	14	1 040	180	Квадрат	400	10; Х5М	8 785	2 428	3 180	19 169 19 029
ПУ-2400-420-$\frac{8}{16}$	СН-10365 СН-10366					Треугольник	452	10; Х5М				20 027 19 873
ПУ-2400-260-$\frac{8}{25}$	СН-10367 СН-10368	2 400	14	980	220	Квадрат	284	10; Х5М	8 795	2 428	3 180	17 163 17 031
ПУ-2400-290-$\frac{8}{25}$	СН-10369 СН-10370					Треугольник	304	10; Х5М				17 488 17 349
ПУ-2400-260-$\frac{16}{25}$	СН-10371 СН-10372	2 400	22	1 040	180	Квадрат	284	10; Х5М	8 840	2 444	3 190	21 183 21 050
ПУ-2400-290-$\frac{16}{25}$	СН-10373 СН-10374					Треугольник	304	10; Х5М				21 508 21 368

Аналогично подогреватель с трубным пучком из U-образных труб и поверхностью нагрева 65 $м^2$ при остальных параметрах тех же, что и рассмотренный выше подогреватель с плавающей головкой, соответственно маркируется:

$$ПУ\text{-}1400\text{-}65\text{-}\frac{25}{40}; \quad t_к \leqslant 200° С; \; t_{тр.п} \leqslant 300° С.$$

Общие виды подогревателей с двумя трубными пучками показаны на рис. 5-7. Основные характеристики приведены в табл. 5-8 и 5-9.

5-4. КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С НЕПОДВИЖНЫМИ ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ

Заводами нефтяного машиностроения выпускается большое количество теплообменных аппаратов по специальным заказам. В настоящее время они еще не все нормализованы. К ненормализованным аппаратам относятся и кожухотрубчатые теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками. Они применяются в тех случаях, когда разность температур трубного пучка и корпуса не превышает 50° С, при этом среда, проходящая по межтрубному пространству, не должна выделять солей или других веществ, загрязняющих наружную поверхность трубок.

Кожухотрубчатые теплообменные аппараты изготовляют на условное давление 2, 5, 6, 10, 16 и 25 $кГ/см^2$ с поверхностью теплообмена от 11 до 350 $м^2$. Трубные пучки набираются из трубок из углеродистой стали диаметром 25 и 38 *мм*, длиной 3 и 6 *м*. Разбивка трубок в трубной решетке осуществляется по вершинам равносторонних треугольников со сторонами соответственно 32 или 48 *мм*. Число ходов по трубкам в зависимости от предъявляемых требований и размера аппарата может быть равным одному, двум и четырем.

Таблица 5-10

Предельные рабочие давления в теплообменных аппаратах с неподвижными трубными решетками, $кГ/см^2$

Условное давление, $кГ/см^2$	Температура среды, °С		
	до 200	до 250	до 300
2,5	2,5	2,3	2,0
6	6	5,5	5,0
10	10	9,2	8,2
16	16	15	13
25	25	23	20

Таблица 5-11

Теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками

Назначение в технологической схеме	Поверхность теплообмена, $м^2$	Рабочее давление, $кГ/см^2$		Температура, °С		Габаритные размеры, *мм*		Вес аппарата, *т*
		в корпусе	в трубном пучке	в корпусе	в трубном пучке	Длина	Диаметр	
Сырьевой теплообменный аппарат	108	8	7,5	35	28	5 590	680	3,30
Кипятильник	206	5	2,0	158	130	6 090	1 004	5,72
Конденсатор паров из отпарной колонны	125	175 *мм рт. ст.*	8,0	10÷40	25÷40	6 780	630	4,36
Конденсатор депропанизатора	118×2=236	17	2,0	50	40	6 990	630	7,70
Конденсатор дебутанизатора	154	7	2,0	60	40	7 190	720	4,78
Конденсатор-холодильник . . .	86	0,25	2,0	110—40	40	5 020	720	2,80
Конденсатор деизобутанизатора	154×2=308	7	2,0	50	40	7 190	720	9,67
Конденсатор	100	0,6	0,6	85	35	3 750	800	3,04

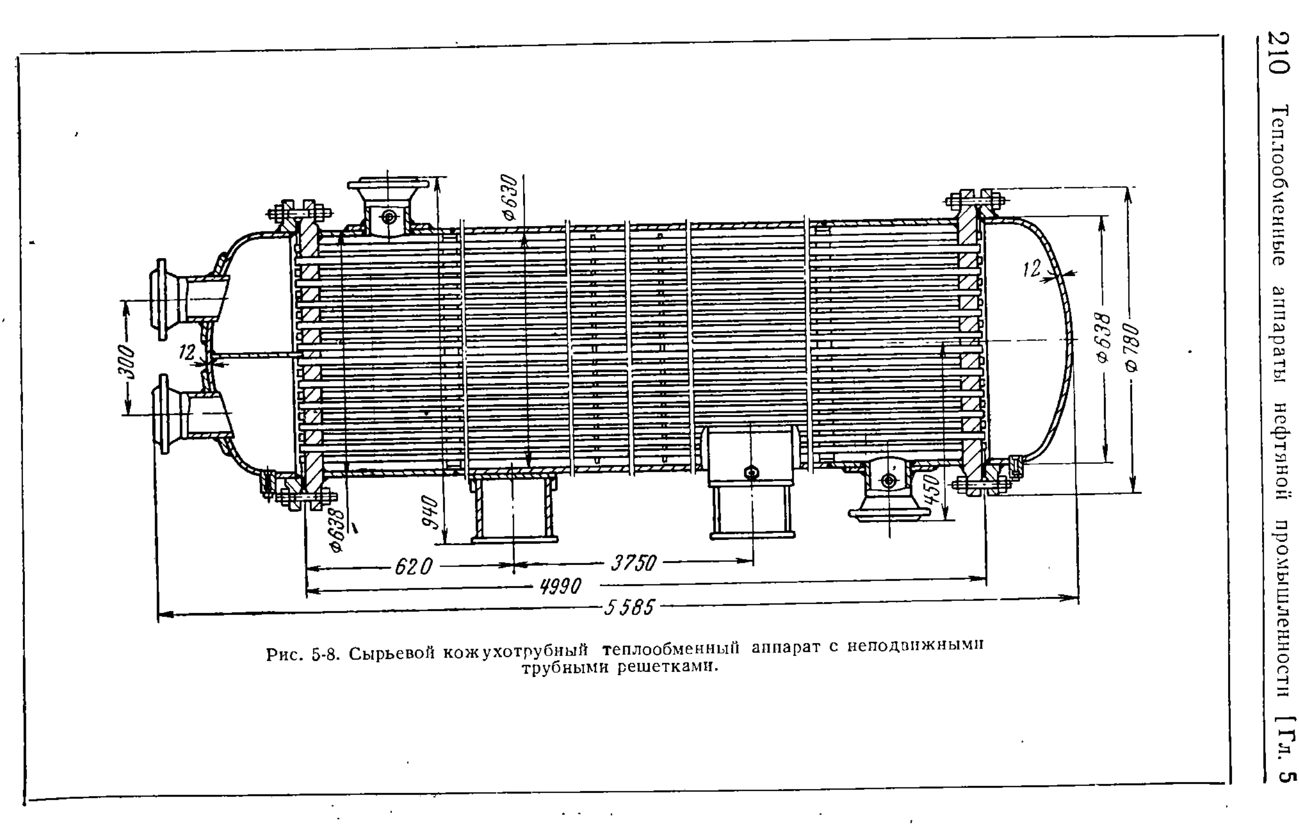


Рис. 5-8. Сырьевой кожухотрубный теплообменный аппарат с неподвижными трубными решетками.

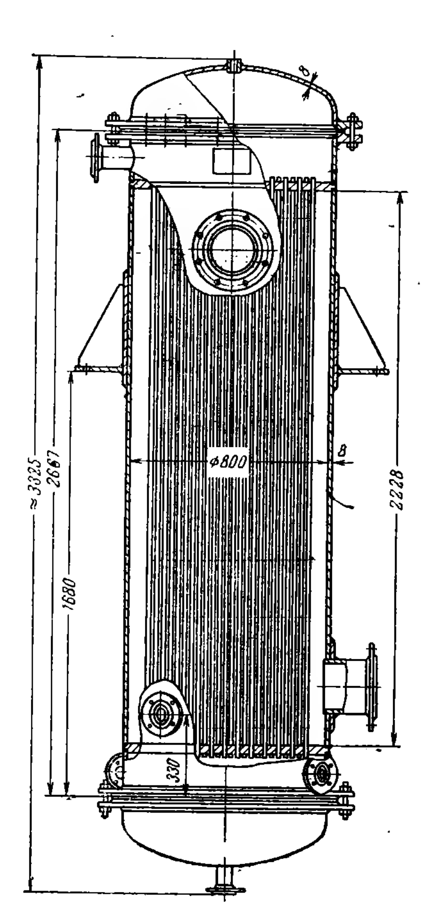


Рис. 5-9. Вертикальный одноходовой дефлегматор с неподвижными трубными решетками.

По межтрубному пространству аппараты выполняют как одноходовыми, так и многоходовыми. Диаметр корпуса изготовляемых теплообменников может быть 325, 478, 630, 820 и 1 020 *мм*. Для компенсации температурных деформаций эти аппараты могут быть изготовлены с линзовыми компенсаторами на корпусе. Применение линзовых компенсаторов ограничивается условным давлением 6 *кГ/см²*. По требованию заказчика теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками могут быть изготовлены для установки в горизонтальном или вертикальном положении.

В табл. 5-10 приведены предельные рабочие давления в аппаратах в зависимости от температуры рабочей среды.

Ниже, в табл. 5-11, приведены технические характеристики нескольких кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками.

Горизонтальный двухходовой аппарат с поверхностью теплообмена на 100 *м²*, используемый в качестве сырьевого теплообменника, показан на рис. 5-8, а вертикальный одноходовой по трубному пучку и по корпусу аппарат, используемый в качестве дефлегматора, — на рис. 5-9.

5-5. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» предназначены для нагрева или охлаждения нефтепродуктов различными теплоносителями. Максимальная температура теплоносителей в межтрубном пространстве не должна превышать 200° С, а в трубном пучке 450° С. Теплообменные аппараты выпускают на условное давление в трубном пучке и межтрубном пространстве до 25 *кГ/см²*.

Предельные рабочие давления в теплообменных аппаратах типа „труба в трубе“ на условное давление 25 *кГ/см²*

Температура среды, не выше, °С	Наибольшее рабочее давдавление, *кГ/см²*
200	25
250	23
300	20
350	18
400	16
425	14
450	11

Основным элементом теплообменного аппарата типа «труба в трубе» является секция. Секции изготовляют с гладкими и с оребренными внутренними трубами. Теплообменные аппараты могут иметь одну, две или три секции. Общий вид одной секции теплообменного аппарата показан на рис. 5-10, установочный чертеж теплообменного аппарата с тремя секциями — на рис. 5-11.

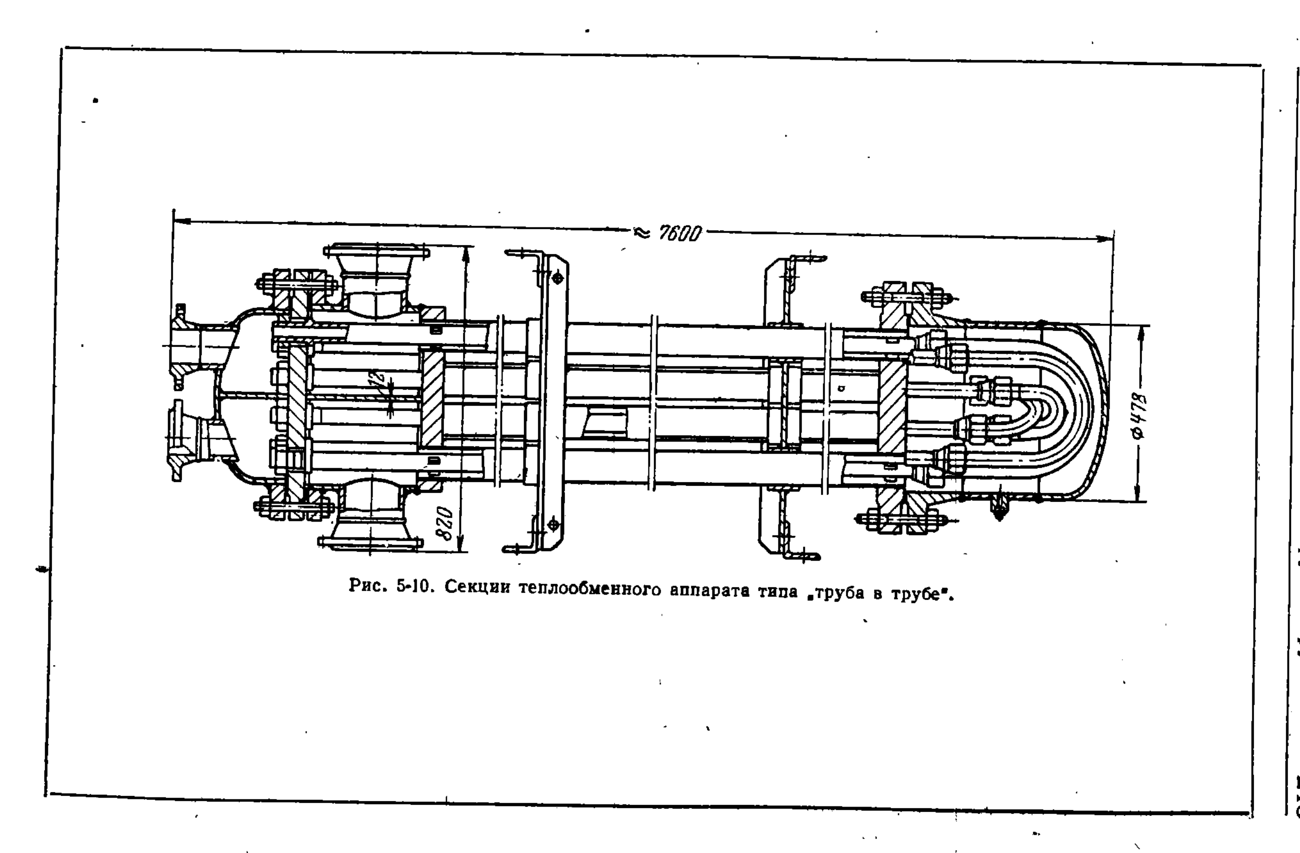


Рис. 5-10. Секции теплообменного аппарата типа „труба в трубе".

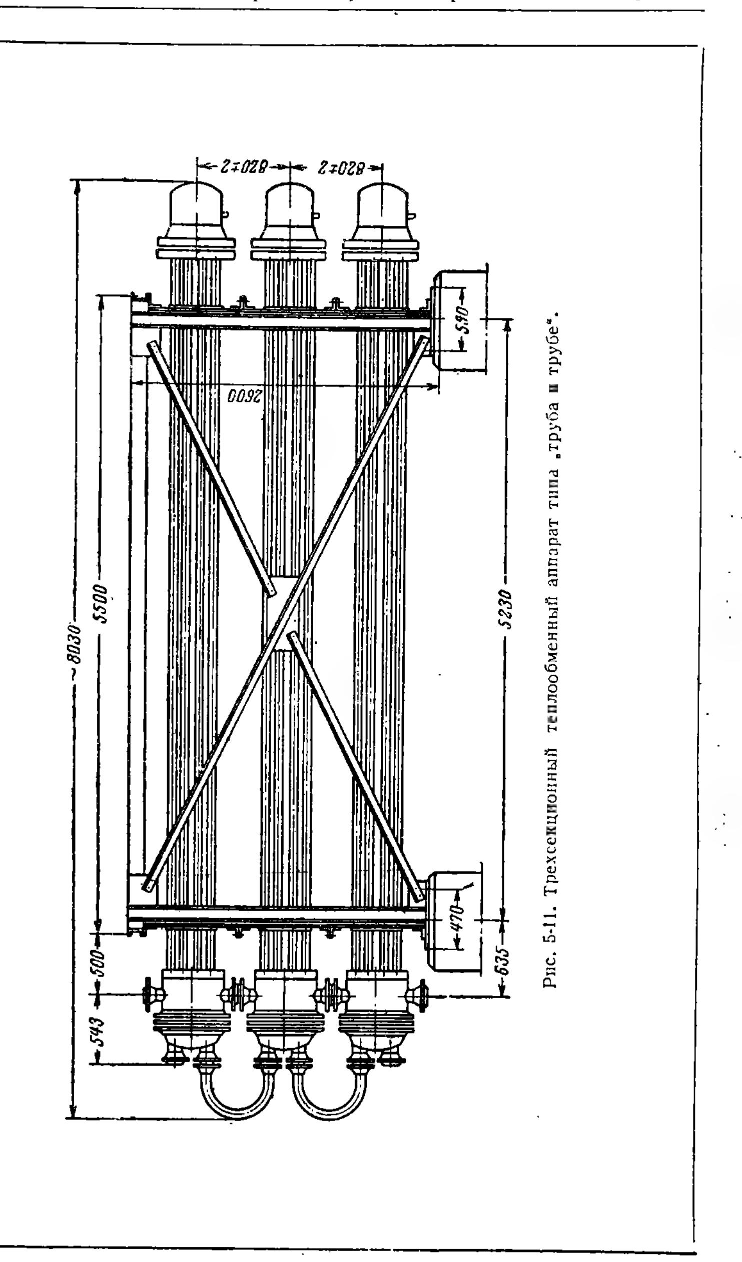


Рис. 5-11. Трехсекционный теплообменный аппарат типа „труба в трубе“.

Таблица 5-12

Теплообменные аппараты типа „труба в трубе" по нормам Гипронефтемаша Н382-56

Технические характеристики	Условные обозначения теплообменных аппаратов: ТТ7-1	ТТ7-2	ТТ7-3	ТТР7-1	ТТР7-2	ТТР7-3
Количество секций в аппарате	1	2	3	1	2	3
Число труб в одном ходе	7	7	7	7	7	7
Число ходов в секции	2	2	2	2	2	2
Конструкция внутренних секций	Без ребер			С ребрами		
Поверхность теплообмена по наружному диаметру внутренней трубы (без ребер), $м^2$	15	30	45	15	30	45
Коэффициент оребрения при 24 ребрах	—	—	—	5	5	5
Коэффициент оребрения при 20 ребрах	—	—	—	4,3	4,3	4,3
Общий вес аппарата, *т*	2,8	5,5	8,0	2,8	5,5	8,0

Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» классифицируют по конструкции внутренних труб секций и количеству секций, составляющих аппарат (табл. 5-12).

Таблица 5-13

Пределы применения змеевиков погружных конденсаторов-холодильников с прямыми трубами

Условное давление, $кГ/см^2$	Пробное давление, $кГ/см^2$	Наибольшее рабочее давление, $кГ/см^2$, при температуре среды, °С: Чугунные трубы, 0—120° С	Чугунные трубы, 121—200° С	Стальные трубы, 0—120° С	Стальные трубы, 121—300° С	Стальные трубы, 301—400° С
10	30	10	8	—	—	—
10	16	—	—	10	8	—
40	60	—	—	40	32	25

Теплообменник типа «труба в трубе» с семью трубами в одном ходе, состоящий из трех секций (в зависимости от конструкции внутренних труб) может иметь следующие условные обозначения:

с оребренными внутренними трубами — ТТР7-3;

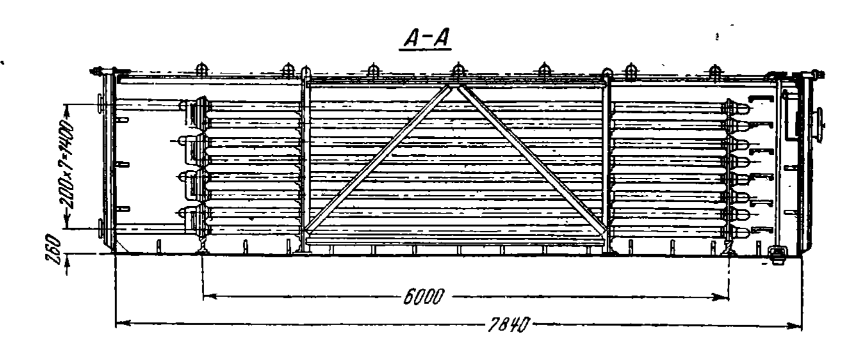
с гладкими внутренними трубами — ТТ7-3.

Таблица 5-14

Погружные змеевиковые конденсаторы-холодильники с прямыми трубами

Поверхность охлаждения, $м^2$	Размер труб, *мм*		Марка материала трубы	Рабочее давление $P_р$, $кГ/см^2$	Габаритные размеры ящика, *мм*			Вес, *кг*
	Диаметр и толщина стенки	Длина			Длина	Ширина	Высота	
50	100×10	3 000×2	СЧ 15-32	10,0	7 840	1 840	1 594	8 399
50	114×6	6 000	Сталь 20	11,0	7 800	1 600	2 013	7 144
50	114×6	6 000	Сталь 20	1,5	7 840	1 840	1 580	6 480
55	89×4,5	6 000	Сталь 10	5,0	7 840	1 920	1 470	5 839
100	89×5	6 000	Сталь 20	13,0	7 800	1 900	2 300	9 963
135	114×6	6 000	Сталь 10	4,0	7 800	3 000	2 000	13 925
150	114×6	6 000	Сталь 20	6,0	7 840	3 040	2 300	15 728
150	89×6	6 000	Сталь 20	10,0	7 800	3 400	2 035	13 808
200	114×6	6 000	Сталь 10	17,0	7 800	3 600	2 400	18 982
200	85×5	6 000	То же	13,0	7 800	3 030	2 300	15 648
200	114×6	6 000	Сталь 10	2,0	7 800	4 640	2 300	17 906
234	114×6	6 000	Сталь 20	3,0	7 800	5 640	1 800	22 727
300	114×5	8 800	Сталь 20	15,0	10 850	4 250	1 888	23 357

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
300	100×10	3 000×2	СЧ 18-36	6,0	7 800	4 240	2 800	35 617
320	89×4	6 000	Сталь 10	3,0	7 840	5 080	2 400	24 470
320	114×6	6 000	То же	<u>20,0</u>	7 800	6 000	2 300	29 765
390	114×5	6 000	Сталь 10	680,0 *мм рт. ст.*	7 800	7 800	2 000	33 520
410	114×6	6 000	Сталь 20	16,0	7 840	7 840	2 000	32 814
440	114×6	6 000	То же	20,0	7 840	8 040	2 300	42 500
450	114×5	6 000	Сталь 20	20,0	7 800	9 046	2 300	45 226
480	114×8	6 000	Сталь 10	20,0	7 800	7 800	2 300	46 905
600	114×6	6 000	Сталь Х5М	25,0	7 220	11 160	1 850	45 104
600	114×5	6 000	Сталь 10	0,2	7 800	11 172	1 900	42 818
675	114×5	6 000	Сталь 10	5,0	7 800	7 800	2 800	47 750
700	117×8,5	3 000×2	СЧ 18-36	3,0	7 800	9 600	2 800	88 344
720	114×8	6 000	Сталь 10	40,0	7 800	11 440	2 300	70 398
1 100	100×10	3 000×2	СЧ 18-36	3,0	7 800	16 800	2 800	151 244
1 200	117×8,5	3 000×2	СЧ 18-36	3,0	7 800	16 800	2 800	136 110
2 550	100×10	3 000×3	СЧ 18-36	0,5	10 800	23 400	2 800	264 933



600
Труба 114×6
2400
2400
7840
А
А

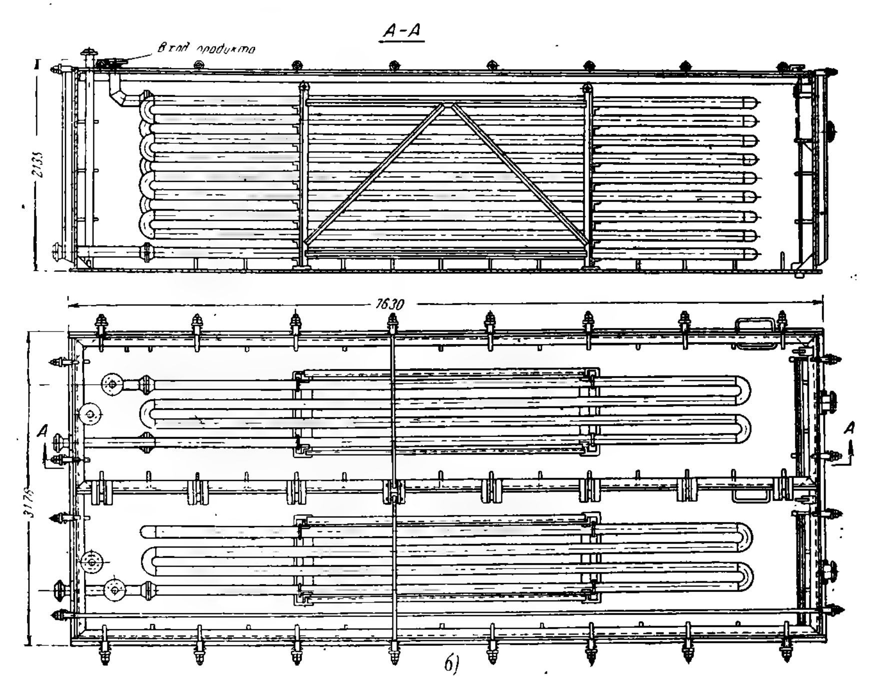
а)

Рис. 5-12. Конденсаторы.
а — с литыми двойниками;

5-6. КОНДЕНСАТОРЫ-ХОЛОДИЛЬНИКИ

В нефтеперерабатывающей промышленности применяют погружные конденсаторы-холодильники с поверхностью теплообмена, состоящей из трубчатых змеевиков. Змеевики монтируют в стальных ящиках, которые во время работы заполняются проточной водой. Уровень воды в ящиках поддерживается на отметке выше верхнего ряда змеевика не менее чем на 100 *мм*.

Змеевиковые конденсаторы-холодильники из прямых труб имеют змеевики из прямых труб, соединенные литыми двойниками. Для чугунных труб двойники изготовляют как съемными на фланцах,



холодильники.

б — с крутозагнутыми двойниками.

так и приварными. Двойники льют круто изогнутыми и приваривают к трубам встык. Чугунные змеевики применяют при условном давлении до 10 *кГ/см²*, а стальные — до 40 *кГ/см²*. Длина чугунных труб 3 000 *мм*. При соединении их по две и по три в длину расстояние между двойниками увеличивается соответственно до 6 000 или до 9 000 *мм*. Диаметр и толщина стенки чугунных труб 100×10,0 *мм* или 117×8,5 *мм*, а стальных—114×6 *мм* или 89×4 *мм*.

На рис. 5-12 изображены конденсаторы-холодильники с прямыми трубами. В табл. 5-15 приведены пределы применения змеевиков из чугунных и стальных труб, а в табл. 5-14 технические характеристики этих аппаратов.

Величина поверхности теплообмена может изменяться в пределах от 50 до 2 550 *м²*.

Конденсаторы-холодильники с гнутыми трубами имеют змеевики из труб диаметром не более 60 *мм* в виде спирали с малым шагом по высоте. Для удобства монтажа спираль змеевика разделена по высоте на две части, которые соединяются гнутым калачом того же радиуса, что и спираль с калачом на фланцах. Габаритные размеры змеевика показаны на рис. 5-13. Поверхность охлаждения одного змеевика 50 *м²*. Технические характеристики этих аппаратов приведены в табл. 5-15.

Таблица 5-15

Погружные змеевиковые конденсаторы-холодильники с гнутыми трубами

Поверхность охлаждения, *м²*	Размеры труб, *мм*		Габаритные размеры ящика, *мм*			Вес, *кг*
	Диаметр и толщина стенки	Длина	Длина	Ширина	Высота	
50	60×4	6 400	7 840	1 140	2 300	4 760
100	60×3	6 400	7 800	1 940	2 310	7 309
100	60×4	6 400	7 840	2 640	2 300	9 073
150	60×6	6 400	7 800	2 740	2 300	12 532
200	60×4	6 400	7 840	3 540	2 300	14 250
200	60×4	6 400	7 840	3 540	2 300	13 300
200	60×4	6 400	7 840	4 140	2 300	15 807
300	60×3	6 400	7 840	5 740	2 300	21 222
350	60×4	6 400	7 800	6 240	2 300	22 061
500	60×3	6 400	7 800	9 200	2 300	33 181
500	60×4	6 400	7 800	8 956	2 300	31 069

Секционные конденсаторы-холодильники имеют сборную из отдельных секций поверхность теплообмена (рис. 5-14). Каждая секция представляет собой пучок стальных трубок диаметром 38×3 *м* и длиной 6 *м*, завальцованных с двух сторон в трубные решетки. К последним на шпильках присоединяются литые крышки с внутренними ребрами-перегородками. Перегородки служат для получения требуемого числа ходов по трубному пучку. Для холодильников применяют восьми- и двенадцатиходовые секции, для

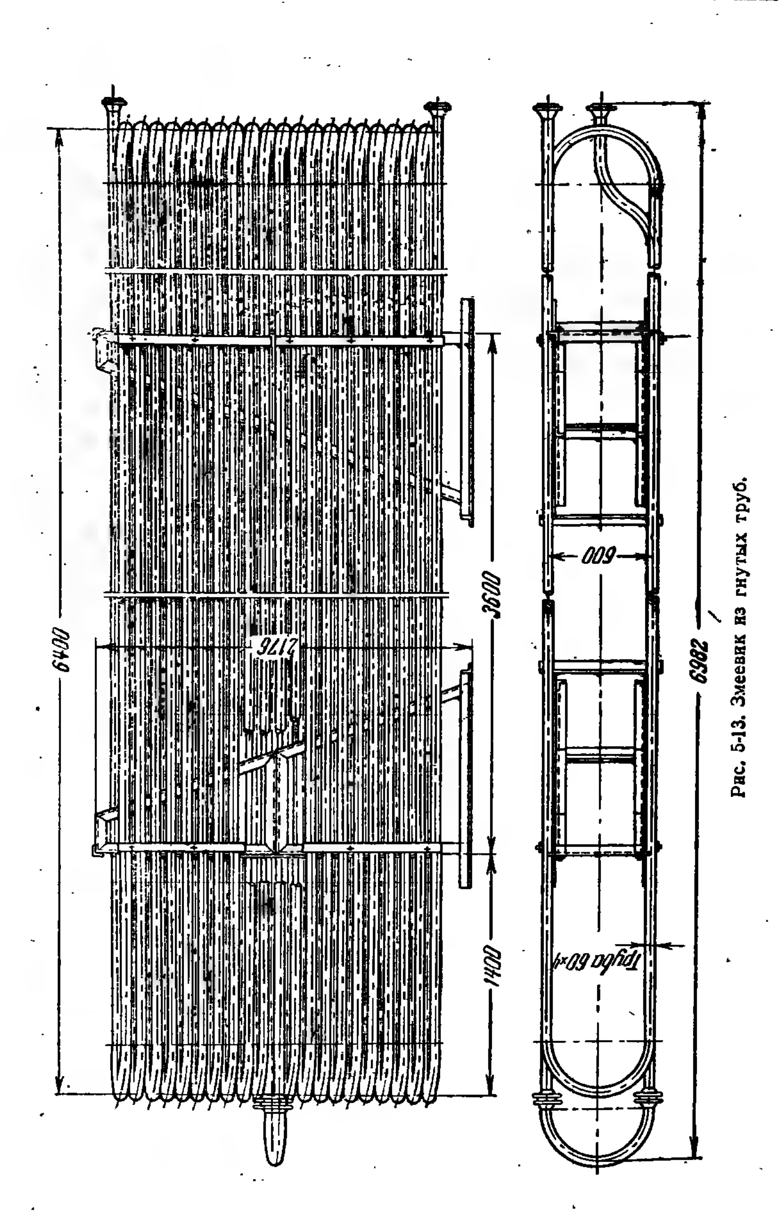


Рис. 5-13. Змеевик из гнутых труб.

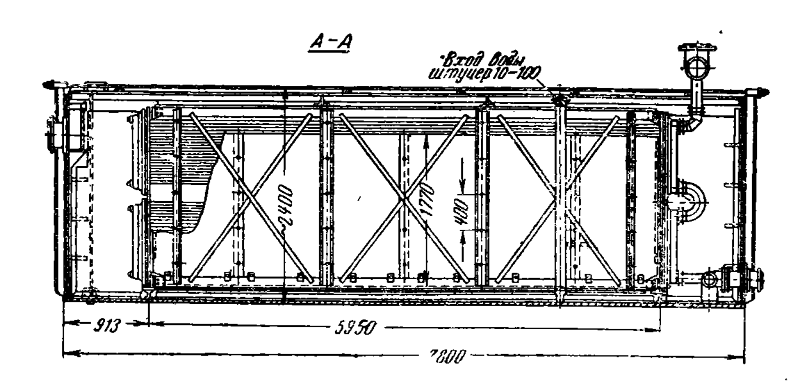


Рис. 5-14. Секционный конденсатор-холодильник в собранном виде.

конденсаторов — шести- и восьмиходовые. Секции монтируют в ящике, как и змеевики погружных конденсаторов-холодильников. Вес одной секции без обшивки 3 700 *кг*. Аппараты поставляют отдельными секциями, ящики — заготовкой.

Технические характеристики погружных секционных аппаратов приведены в табл. 5-16.

Таблица 5-16

Секционные погружные конденсаторы-холодильники

Поверхность охлаждения, $м^2$	Габаритные размеры ящика, *мм*			Вес, *кг*
	Длина	Ширина	Высота	
300	7 800	3 270	2 300	20 906
618	7 800	6 000	2 300	41 145
800	7 800	7 800	2 300	50 854
824	7 800	8 300	2 300	54 778
2 470	7 800	23 800	2 300	150 194

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

6-1. КОТЛЫ-УТИЛИЗАТОРЫ МАРТЕНОВСКИХ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Тепло уходящих газов мартеновских и нагревательных печей, как правило, используется для подогрева воздуха и газообразного топлива. В воздушных и газовых регенераторах температура продуктов сгорания снижается до 450—600° С. Дальнейшее использование тепла уходящих дымовых газов осуществляется в котлах-утилизаторах, обеспечивающих снижение температуры продуктов сгорания до 200—220° С.

Конструкции котлов-утилизаторов с принудительной циркуляцией разработаны Центроэнергочерметом, Севзапэнергочерметом и Гипромезом. Котлы изготовляются таганрогским заводом «Красный котельщик» (табл. 6-1). В марке котла буквы указывают назначение котла — котел-утилизатор, а цифры — максимальное количество пропускаемого греющего газа, тыс. $м^3/ч$. Поверхность нагрева котлов-утилизаторов выполнена в виде змеевиков из труб диаметром 32×3 *мм*, расположенных в шахматном порядке. Змеевики собраны в отдельные пакеты с шагом, обеспечивающим удобство внешней очистки. Барабан любого котла-утилизатора имеет диаметр 1 500 *мм*.

Котлы-утилизаторы располагают, как правило, на ответвлении от основного борова, соединяющего печь с дымовой трубой. Конструкция котла-утилизатора типа КУ-80, показана на рис. 6-1, а типа КУ-50 — на рис. 6-2.

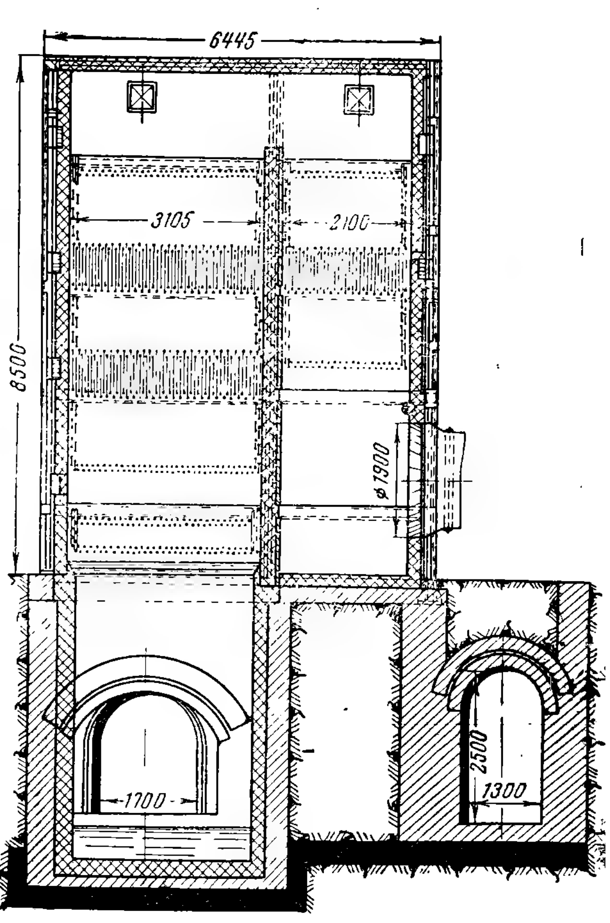
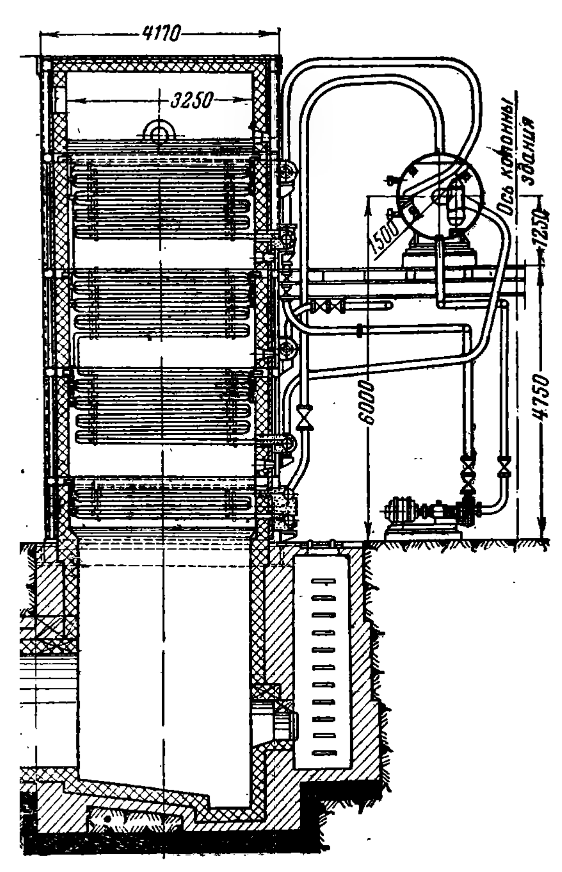


Рис. 6-1. Котел



…атор типа КУ-80.

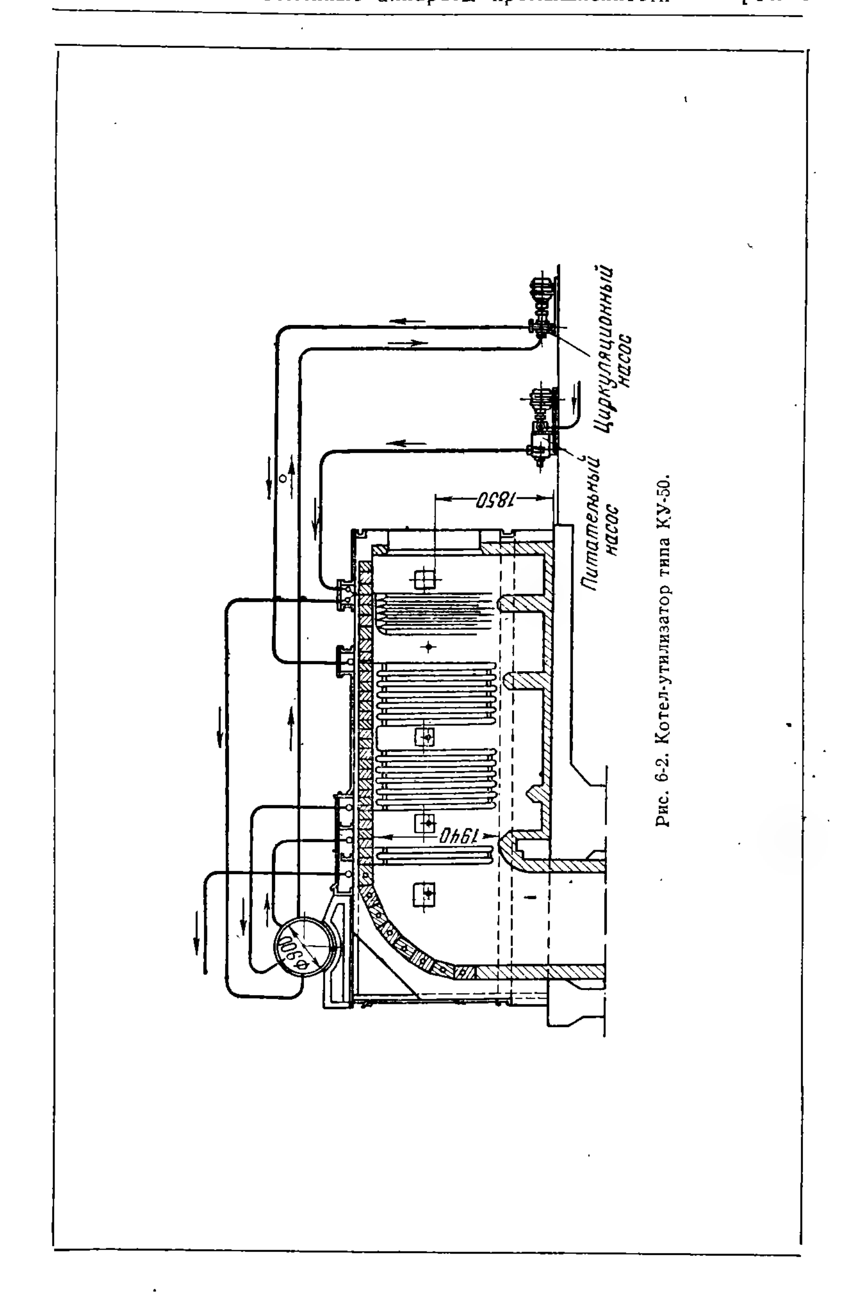


Рис. 6-2. Котел-утилизатор типа КУ-50.

Таблица 6-1

Котлы-утилизаторы

Тип котла	Паропроизводительность*, $т/ч$	Рабочее давление, $кГ/см^2$	Температура перегрева пара, °С	Поверхность нагрева, $м^2$		
				Испарительная часть	Пароперегреватель	Водяной экономайзер
КУ-40	3 7,4	8	250	485	18	—
КУ-50	5,8/6,2	18	375	511	62,5	155
КУ-60	5/8	18	375	529	72	145
КУ-80	10/15	19	375	825	84	216

* В числителе указана средняя паропроизводительность, а в знаменателе максимальная, соответствующая наибольшему количеству греющих газов.

В табл. 6-2 приведены в качестве примера характеристики котлов-утилизаторов КУ-50 и КУ-60.

Таблица 6-2

Котлы-утилизаторы КУ-50 и КУ-60

Тип котла	Паропроизводительность*, $т/ч$	Рабочее давление, $кГ/см^2$	Поверхность нагрева, $м^2$			Диаметр кипятильных труб, $мм$	Количество труб в ряду испарительной части, шт.	Число рядов в пучке	Количество труб в ряду пароперегревателя, шт.	Ширина газохода, $мм$	Высота газохода, $мм$
			испарительной части	пароперегревателя	водяного экономайзера						
КУ-50	5,8/6,2	18	511	62,5	155	32×3	36	16	35	2 960	2 200
КУ-60	5/8	18	529	72	145	32×3	36	20	36	3 040	2 570

* В числителе указана средняя паропроизводительность, в знаменателе максимальная, соответствующая наибольшему количеству греющих газов.

6-2. РЕКУПЕРАТОРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Использование тепла отходящих газов промышленных нагревательных печей осуществляется в основном за счет установки рекуператоров для подогрева дутьевого воздуха и газообразного топлива. Получили распространение металлические и керамические рекуператоры. В промышленности применяются игольчатые, трубчатые и термоблоки, металлические рекуператоры (табл. 6-3).

Керамические рекуператоры целесообразно применять в случае начальных температур продуктов сгорания порядка 1 400° С.

Таблица 6-3

Металлические рекуператоры

Технические характеристики	Двухсторонние игольчатые			Односторонние игольчатые			Термоблоки				Трубчатые
	I	II	III	Союзтеплострой	Стальпроект	Стальпроект	МЭИ-1	МЭИ-2	Союзтеплострой	Союзтеплострой	Союзтеплострой
Условная поверхность нагрева, $м^2$	2,5	11,25	24	33	7,65	21—25	1—20	2—30	0—9	2—42	8,72
Скорость нагреваемой среды при 0° и 760 *мм рт. ст.*, *нм³/м²сек*	8	8	5,2	4,5—5,5	5,8	6,15	8—10	8—10	8—10	8—10	4,7
То же продуктов горения, *нм³/м²сек*	1,5	1,5	2,0	2—3	2,0	2,0	1—1,5	1,5—2,5	1,5—2,6	1,2—2,5	2,0
Количество воздуха, проходящего через секции или рекуператор, *нм³/ч*	1 100	3 500	3 600	3 300	1 496	—	100	200	610	2 160	1 000
Температура подогрева воздуха, °С	400	375	400	450	450	300	450	—	300	250	400
Угловая поверхность нагрева в единице объема пространства, занимаемого рекуператором, $м^2/м^3$	6,3	6,4	6,2	5,3	6,4	6,38	21,6	36,8	28	31	7,5
Вес 1 $м^2$ поверхности нагрева, $кг/м^2$	284	230	211	173	157	132	175	143	157	136	75
Отношение веса рекуператора к весу сжигаемого условного топлива, *кг/кг*	5,5:1	6:1	9,8:1	—	—	—	15:1	11,5:1	8,5:1	8,2:1	5,8:1

6-3. ТЕПЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Запорочные котлы предназначаются для запарки паром силикатного кирпича. Котел представляет собой сварной цилиндрический барабан, закрытый с одной или двух сторон съемными днищами. Пар подается в котел через паропровод, который проходит внутри котла по всей его длине. Внутри котла смонтированы рельсы для вагонеток с сырцом.

Технические характеристики запарочных котлов (автоклавов), изготовляемых Ижорским заводом, приведены в табл. 6-4.

Таблица 6-4

Запарочные котлы (автоклавы)

Тип	Внутренний диаметр барабана, *мм*	Рабочая длина барабана, *мм*	Давление пара, *ати*	Температура пара, °С	Емкость котла, шт. кирпича
СМ-154	2 000	17 000	8	174,5	До 13 500
2×17	2 000	17 000	8	174,5	До 13 500
2×19	2 000	19 245	8	174,5	14 400
3,6×21	3 600	21 000	12	187	—

Продолжение табл. 6-4

Тип	Вес загрузки автоклава, *т*	Ширина полки, *мм*	Габаритные размеры, *мм*			Вес котла, *кг*
			Длина	Ширина	Высота	
СМ-154	—	750	18 720	2 395	3 334	16 400
2×17	57	750	18 285	2 650	4 090	16 900
2×19	—	750	20 825	2 628	4 090	20 570
3,6×21	—	1 524	23 250	4 800	5 270	102 800

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

7-1. НАСОСЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Приводятся основные характеристики насосов для перекачки нефтепродуктов с температурой 200—400° С, а также насосов, перекачивающих агрессивные среды. Основные характеристики насосов приведены в табл. 7-1 и 7-2.

Таблица 7-1

Насосы для перекачки нефтепродуктов с температурой от 200 до 400° С

Тип насоса	Производительность, $м^3/ч$	Полный напор, *м вод. ст.*	Число оборотов, *об/мин*	Рекомендуемая мощность двигателя, *квт*	Удельный вес перекачиваемой жидкости	Габаритные размеры, *мм*			Вес, *кг*
						Длина	Ширина	Высота	
4НГК-5×1	30	56	2 950	25	0,7	1 206	620	482	285
4НГ-5×2	40	108	2 970	25—35	0,7	1 372	610	495	358
5НГК-5×1	70	90	2 950	25—35	0,7	1 236	620	542	320
5НГ-5×4	80	345	2 950	90	0,7	2 040	950	906	1 960
5НГ-5×2	80	180	2 950	50	0,7	1 405	610	590	484
6НГК-6×1	100	115	2 950	50	0,7	1 025	600	565	519
6НГ-7×2	120	180	2 950	95	0,7	1 360	640	705	704
6НГ-10×4	125—150	280	2 950	160	0,75	2 265	106	1 050	3 053
ГЦ-20/14	150	140	1 450	75	0,75	1 775	950	1 005	1 600
8НГД-6×1	110—160	100—90	2 950	90	—	1 302	655	580	490
8НГД-9×3	290	270	2 950	300	0,8	2 530	1 000	1 165	6 063

Таблица 7-2

Насосы для перекачки кислот

Тип насоса	Производительность, *м³/ч*	Полный напор, *м вод. ст.*	Число оборотов, *об/мин*	Рекомендуемая мощность двигателя, *квт*	Габаритные размеры, *мм*			Вес, *кг*
					Длина	Ширина	Высота	
КНЗ-3/23	5—19	15,5—10,3	1 450	2,8—4,5	765	430	470	134
КНЗ-3/25	15—20	18—11,8	1 450	2,8—5,5	765	430	470	134
КНЗ-5/23	15—29	12—9	1 450	2,8—4,5	758	430	470	145
КНЗ-5/25	18—32	13,5—10,3	1 450	2,8—5,5	768	430	470	145
КНЗ-6/27	26—65	20,5—11,5	1 450	7—11,4	765	465	535	172
КНЗ-6/30	30—70	24,5—15,5	1 450	10—16	765	465	535	172
КНЗ-8/32	45—110	24—15	1 450	14—21,5	875	570	650	225
КНЗ-8/35	50—120	30—19,5	1 450	20—29	875	570	650	225
КНЗ-10/35	90—234	29,2—17	1 450	28—40	935	570	600	240
ЭХМ-20/28	100—250	18—10	1 450	20	985	590	615	365
ЭХМ-20/35	100—250	26—20	1 450	40	985	590	615	370
ЭХМ-15	18	14	1 460	3	980	443	443	370
ЭХ-30/60	30	60	2 930	16	780	480	—	239
ЦКН-25	25	—	1 400	4,5	1 250	510	415	185
НКВ-1	35	80	1 450	15	2 800	600	—	645
ЦМ-50/25	50	25	1 470	10,4	930	605	450	307
ЦМ-75/105	75	45	1 460	24	1 106	745	550	624
ЭЧ-10/35	90	30	1 500	29	1 000	720	730	556
ЭХ-10/35	90	30	1 450	29	1 055	485	530	350
4НСКХ2	130	170	2 950	100	1 055	485	530	350
4НВКХ2	130	170	2 950	100	1 055	485	530	420
4НСКХ4	130	340	2 950	200	1 260	485	530	500
ЦМ-140/60	140	60	1 430	53	—	—	—	1 020
НЭК-180	180	13	1 450	15	1 010	470	550	300

7-2. АРМАТУРА И КОНДЕНСАТООТВОДЧИКИ

В табл. 7-6 приведены геометрические размеры регулирующих фланцевых вентилей. Эти вентили применяются в трубопроводах холодильных установок для жидкого и газообразного аммиака при температуре от —70 до +150° С.

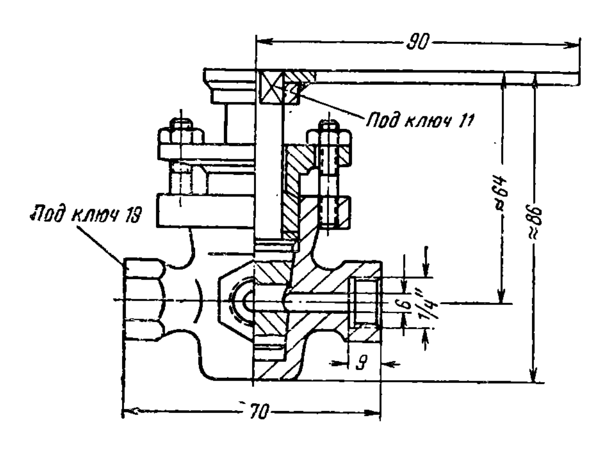


Рис. 7-1. Трехходовой сальниковый муфтовый кран. Применяется на трубопроводах для воздуха при температуре до 250° С.

На рис. 7-3 показан запорный фланцевый вентиль. Основные габаритные размеры и веса этих вентилей приведены в табл. 7-7. Применяются для газообразных и жидких сред при температуре до 300° С.

На рис. 7-4 показан запорный фланцевый вентиль с электроприводом. Применяется на трубопроводах для жидких сред и насыщенного пара при температуре до 225° С.

На рис. 7-5 изображен запорный фланцевый вентиль. Основные габаритные и присоединительные размеры и вес даны в табл. 7-8. Применяется на вакуумных установках для вакуума до 10^{-2} *мм рт. ст.*, а также на трубопроводах для воздуха при температуре до 50° С.

На рис. 7-6 изображен регулирующий угловой цапковый вентиль с паровым обогревом под дистанционное управление. Такие вентили применяют на трубопроводах для газообразных сред при температуре до 200° С.

В табл. 7-9 представлены основные размеры и вес прямоточного запорного фланцевого вентиля. Такие вентили применяют на трубопроводах для коррозийно-активных сред при температуре до 300° С.

Таблица 7-3

Пробно-спускные краны

Наименование и краткая характеристика	Среда	Температура среды, °С	Условное давление $P_у$, *кГ/см²*	Материал корпуса	Условный проход, *мм*
Кран пробно-спускной сальниковый с изогнутым спуском	Вода, пар	225	10	Латунь или бронза	6, 10, 15, 20
Кран пробно-спускной сальниковый с прямым спуском	Вода, пар	225	10	Латунь или бронза	6, 10, 15, 20
Кран пробный сальниковый с откидным затвором	Жидкие среды, требующие по своим свойствам применения латуни	50	16	Латунь	20
Кран пробно-спускной сальниковый с изогнутым спуском	Вода	50	10	Латунь	6, 10, 15, 20
Кран пробно-спускной сальниковый с изогнутым спуском ниппелем	Вода пар	225	10	Латунь или бронза	6, 10, 15, 20
Кран пробно-спускной сальниковый с прямым спуском и ниппелем	Вода, пар	225	10	Латунь или бронза	6, 10, 15, 20
Кран пробно-спускной сальниковый с изогнутым спуском	Масло и смола	225	6	Ковкий чугун	6, 15

Таблица 7-4

Краны

Наименование и краткая характеристика	Среда	Температура среды, °С, не более	Условное давление $P_у$, *кГ/см²*	Материал корпуса	Проход условный, *мм*
Кран натяжной муфтовый	Жидкие среды, требующие по своим свойствам применения латуни или бронзы	100	6	Латунь или бронза	10, 15, 20, 25, 32, 40, 50
Кран сальниковый муфтовый	То же	100	10	То же	10, 15, 20, 25, 32, 40, 50
Кран натяжной газовый муфтовый	Газ	50	0,1	Латунь или бронза	15, 20, 25, 32
Кран натяжной газовый муфтовый	Газ	50	0,1	Чугун	40, 50, 70, 80
Кран сальниковый муфтовый	Вода, нефть, масла	100	10	То же	15, 20, 25, 32, 40, 50, 70, 80
Кран сальниковый фланцевый	Вода, нефть, масла	100	10	То же	25, 32, 40, 50, 70, 80
Кран трехходовой сальниковый муфтовый	Вода, нефть, масла	100	6	То же	25, 32, 40, 50, 70, 80

Кран трехходовой сальниковый фланцевый	Вода, нефть, масла	100	10	Чугун	80
Кран трехходовой сальниковый муфтовый (рис. 7-1)	Воздух	250	16	Ковкий чугун	6
Кран сальниковый гумированный фланцевый	Коррозионные среды	60	2,5	Чугун	25, 50
Кран сальниковый с паровым обогревом фланцевый	Каменноугольная смола, пек и др.	400	10	Сталь	50, 80, 100, 150
Кран сальниковый цапковый (с пробкой из фторпласта)	Коррозионные среды	—	3,5	Кислотостойкая сталь	10, 15, 20, 25
Кран сальниковый фланцевый	Серная кислота (концентрация до 78%)	—	6	Кислотостойкая сталь	15, 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100
Кран со смазкой фланцевый или с концами под приварку с червячной передачей	Газ	От —35 до +35	64	Сталь	80, 100, 150, 200, 300
Кран со смазкой для безколодезной установки с концами под приварку с червячной передачей	Газ	От —35 до +35	64	Сталь	400, 500, 700

Таблица 7-5

Запорные и регулирующие вентили

Наименование и краткая характеристика	Среда	Температура, °C не более	Условное давление, $кГ/см^2$	Диаметр условного прохода D_y, *мм*
Вентиль запорный муфтовый	Пар	225	16	15, 20, 25, 32, 40, 50
Вентиль запорный муфтовый	Вода	50	10	15, 20, 25, 32, 40, 50
Вентиль запорный фланцевый	Газообразные и жидкие среды	300	8	15, 20, 25, 32, 40, 50, 80
Вентиль запорный сильфонный фланцевый с колпаком	Воздух	50	2,5	25
Вентиль запорный мембранный цапковый	Фреон	120	16	6, 10
Вентиль запорный угловой мембранный цапковый латунный	Фреон	120	16	6, 10
Вентиль запорный сильфонный вакуумный цапковый с ниппелями (для вакуума до 10^{-5} *мм рт.ст.*)	Газообразные среды	60	1	3, 10, 20
Вентиль запорный под фланцевое приспособление	Азотная кислота	100	6	15, 25, 32, 40, 50, 80, 100
Вентиль запорный угловой сильфонный цапковый с ниппелем	Воздух, вода	50	3	10
Вентиль запорный угловой цапковый	Коррозионные среды	300	8	6
Вентиль запорный бессальниковый цапковый с электромагнитным приводом	Фреон	От —40 до +35	13	10
Вентиль запорный пожарный с муфтой и цапкой	Вода	50	6	50

Вентиль запорный муфтовый	Пар	225	16	70
Вентиль запорный муфтовый	Вода	50	10	70, 80
Вентиль запорный сильфонный фланцевый (для вакуума до 10^{-2} *мм рт. ст.*)	Воздух	50	2,5	50, 80
Вентиль запорный фланцевый	Аммиак	От —40 до +150	25	20, 25
Вентиль запорный фланцевый	Вода, пар	225, 300	25	25, 32, 40, 50, 70, 80
Вентиль запорный фланцевый	Жидкий и газообразный аммиак	От —40 до +150	25 5	25, 32, 40, 50, 70, 80
Вентиль запорный муфтовый	Пар, вода	225 50	5	15, 20, 25, 32, 40, 50
Вентиль запорный муфтовый	Бензин	40		40, 50
Вентиль запорный фланцевый	Жидкий и газообразный аммиак	От —40 до +150	25	25, 32, 40, 50
Вентиль запорный с колпаком фланцевый	Фреон	От —30 до +50	16	20, 25
Вентиль регулирующий с колпаком фланцевый	Фреон 16	От —30 до +120	—	20, 25
Вентиль запорный угловой с колпаком фланцевый	Фреон	От —30 до +50	16	20, 25
Вентиль запорный прямоточный футерованный фланцевый	Коррозионные среды	100	6	20, 40, 50, 80, 100, 150, 200
Вентиль запорный диафрагмовый гуммированный фланцевый	То же	50		25, 40, 50, 70, 100
Вентиль запорный прямоточный гуммированный фланцевый	То же	50	6	25, 50, 80, 150, 200
Вентиль запорный диафрагмовый фетурованный фланцевый	Коррозионные среды	200	10	6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50
Вентиль запорный бессальниковый с электромагнитным проводом	Жидкий и газообразный аммиак, вода фреон	От —40 до +35 35 От —40 до +35	13	25, 40

Продолжение табл. 7-5

Наименование и краткая характеристика	Среда	Температура не более, °С	Условное давление, $кГ/см^2$	Диаметр условного прохода $D_у$, *мм*
Вентиль запорный цапковый	Жидкая и газообразная кислота	От —80 до +150	100	10, 15
Вентиль запорный цапковый	Жидкий и газообразный аммиак	От —70 до +150	25	10, 15
Вентиль запорный под фланцевое присоединение	Жидкий и газообразный аммиак	От —70 до +150	25	20, 25, 32
Вентиль запорный угловой цапковый	Жидкий и газообразный аммиак	От —70 до +150	25	6, 10
Вентиль запорный фланцевый	Жидкий и газообразный аммиак	От 270 до +150	—	100, 125
	нефтепродукты	300	—	150, 200
Вентиль запорный фланцевый	Жидкие и газообразные среды	300	25	15,20, 25, 40, 50, 80, 100
Вентили запорный и регулирующий угловые фланцевые	Жидкая и газообразная углекислота	От —80 до +150	100	25
Вентиль регулирующий угловой фланцевый кислотостойкий	Коррозионные среды	100	100	6, 10, 15, 25, 32, 40
Вентиль дросселирующий угловой патронный фланцевый	Вязкие и загрязненные среды: шлам, паста и др.	200	700	25, 40
Вентиль дросселирующий угловой патронный с водяным охлаждением фланцевый	Вязкие и загрязненные среды: шлам, паста и др.	От 200 до 400	700	40
Вентиль запорный прямоточный фланцевый	Коррозионные среды	300	6	150
Вентиль запорный цапковый с ниппелями	То же	350	200	6

Вентиль запорный с патрубками под приварку	Коррозионные среды			
Вентиль запорный мембранный с фланцами под приварку	То же	100	—	10
Вентиль запорный угловой фланцевый	Жидкий хлор	50	—	40
Вентиль запорный для ацетиленового баллона с цапковым концом	Ацетилен	40	—	5
Вентиль запорный игольчатый с муфтой и цапкой	Коррозионные среды	300	—	4,5
Вентиль запорный с патрубками под приварку	То же	350	—	15
Вентиль запорный мембранный цапковый с ниппелями	То же		23	6
Вентиль запорный сильфонный фланцевый	То же		60	15, 20, 50
Вентиль регулирующий игольчатый под фланцевое присоединение	То же		10	25
Вентиль регулирующий угловой фланцевый	То же		200	15
Вентиль запорный угловой фланцевый	Нефтепродукты и другие жидкие и газообразные среды		320	6, 10, 15, 25, 32, 40, 60, 70, 90, 125
Вентиль запорный сильфонный фланцевый с патрубками под приварку	Коррозионные среды		5	15, 20, 25, 40, 50, 70, 100
Вентиль запорный угловой фланцевый с электоприводом	Нефтепродукты и другие жидкие и газообразные среды		320	150, 200
Вентиль запорный угловой фланцевый	Нефтепродукты		100	6, 10, 15, 25, 32
Вентиль запорный фланцевый	Коррозионные среды		3	40, 50
Вентиль дросселирующий угловой патронный фланцевый	Вязкие и загрязненные среды: шлам, паста и др.		320	40

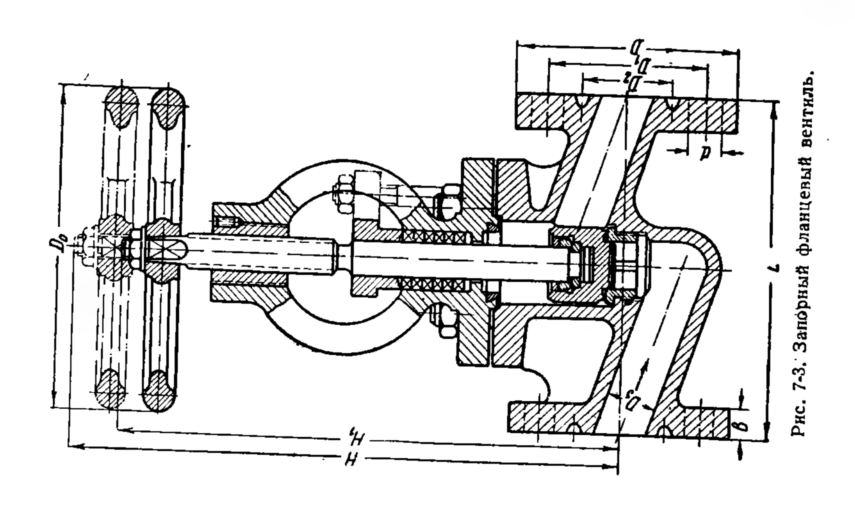


Рис. 7-3. Запорный фланцевый вентиль.

Рис. 7-2. Регулирующий фланцевый вентиль.

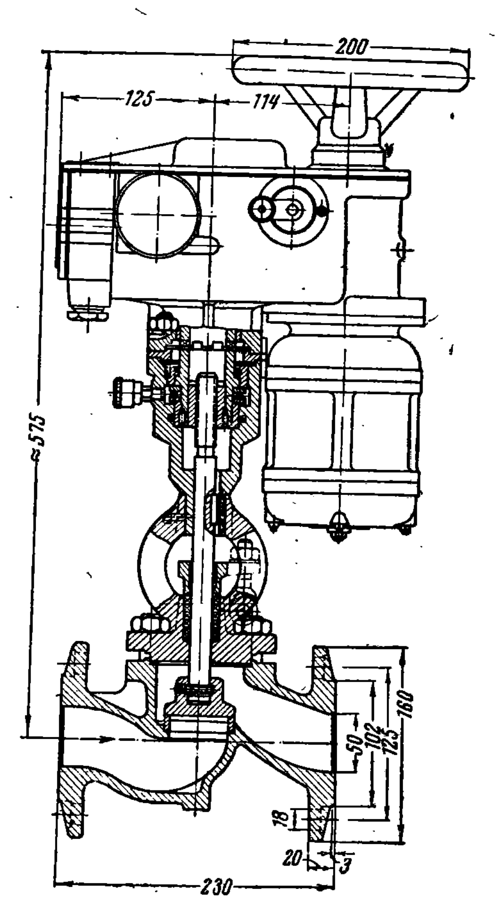


Рис. 7-4. Запорный фланцевый вентиль с электроприводом.

Таблица 7-6

Регулирующие фланцевые вентили

Диаметр условного прохода, D_y	Основные габаритные и присоединительные размеры, *мм* (рис. 7-2)													Количество отверстий во фланце, шт.	Вес не более, *кг*
	L	D	D_1	D_2	D_3	f	f_1	b	d	S	H_1	H	D_0		
20	140	105	75	58	51	2	4	18	14	46	215	242	120	4	6,19
25	150	115	85	68	58	2	4	18	14	46	216	244	120	4	6,72
32	200	135	100	78	66	2	4	20	18	55	264	298	160	4	12,1

Таблица 7-7

Запорные фланцевые вентили

Диаметр условного прохода, D_y	Основные габаритные и присоединительные размеры, *мм* (рис. 7-3)									Количество отверстий во фланце, шт.	Вес не более, *кг*
	L	D	D_1	D_2	b	d	H	H_1	D_0		
15	175	95	65	34	18	14	218	197	120	4	7,5
20	190	105	75	48	18	14	252	239	140	4	9,0
25	200	115	85	53	20	14	301	279	160	4	11,6
32	210	140	100	58	20	18	344	314	200	4	19,0
40	225	150	110	65	24	18	380	350	240	4	22,5
50	230	165	125	82	24	18	388	347	200	4	25,7
80	310	200	160	115	24	18	442	398	280	4	45,0

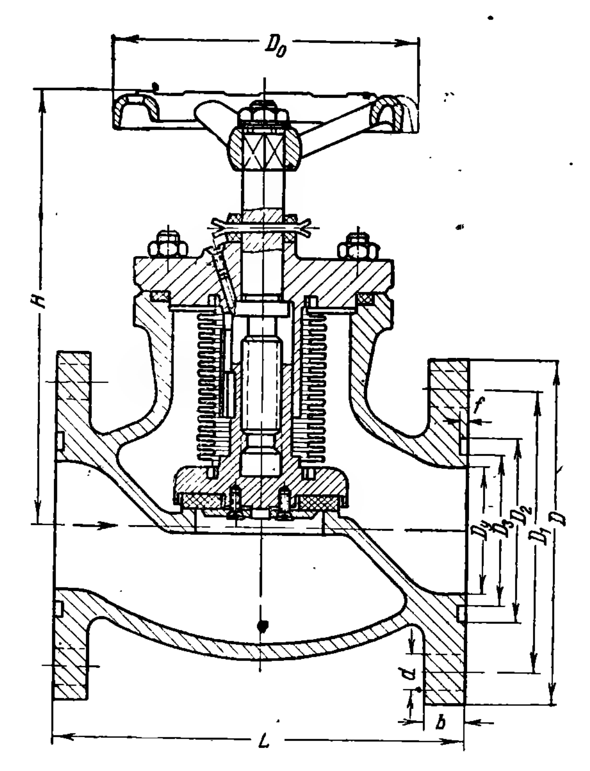


Рис. 7-5. Запорный фланцевый вентиль.

Таблица 7-8

Запорные сильфонные фланцевые вентили (рис. 7-5)

Условный диаметр прохода, D_y	Основные габаритные и присоединительные размеры, *мм*										Количество отверстий во фланце, шт.	Вес не более, *кг*
	L	D	D_1	D_2	D_3	b	f	d	H	D_0		
50	160	135	110	72	58	13	3	14	168	120	6	7,8
80	210	180	150	112	98	16	3	14	217	160	6	17,5

Таблица 7-9

Запорный прямоточный фланцевый вентиль

Диаметр условного прохода, $D_у$	Основные габаритные и присоединительные размеры, *мм* (рис. 7-7)										Количество отверстий во фланце, шт.	Вес не более, *кг*
	L	D	D_1	D_2	f	b	d	H	H_1	D_0		
25	180	115	85	68	2	14	14	260	225	120	4	8,0
32	180	135	100	78	2	14	18	260	225	120	4	9,5

Таблица 7-10

Указатели уровня

Наименование и краткая характеристика	Среда	Температура рабочей среды, °С	Материал корпуса	Диаметр условного прохода, *мм*
Указатель уровня кранового типа цапковый	Вода, пар	225	Латунь или бронза	20
Указатель уровня кранового типа фланцевый латунный или бронзовый на $P_у = 16$ *кГ/см²*	То же	225	То же	20
Указатель уровня кранового типа фланцевый латунный или бронзовый на $P_у = 25$ *кГ/см²*	То же	225	Латунь или бронза	20
Указатель уровня вентильного типа цапковый стальной на $P_у = 40$ *кГ/см²*	Вода, пар	425	Сталь	20
Указатель уровня вентильного типа цапковый кислотостойкой стали на $P_р = 16$ *кГ/см²*	Коррозионные среды	300	Кислотостойкая сталь	20
Указатель уровня вентильного типа фланцевый стальной на $P_р = 30$ *кГсм²*	Вода, аммиачная вода	200 60	Сталь	—

Примечание. Во всех указателях применяется асбестовая пропитанная набивка.

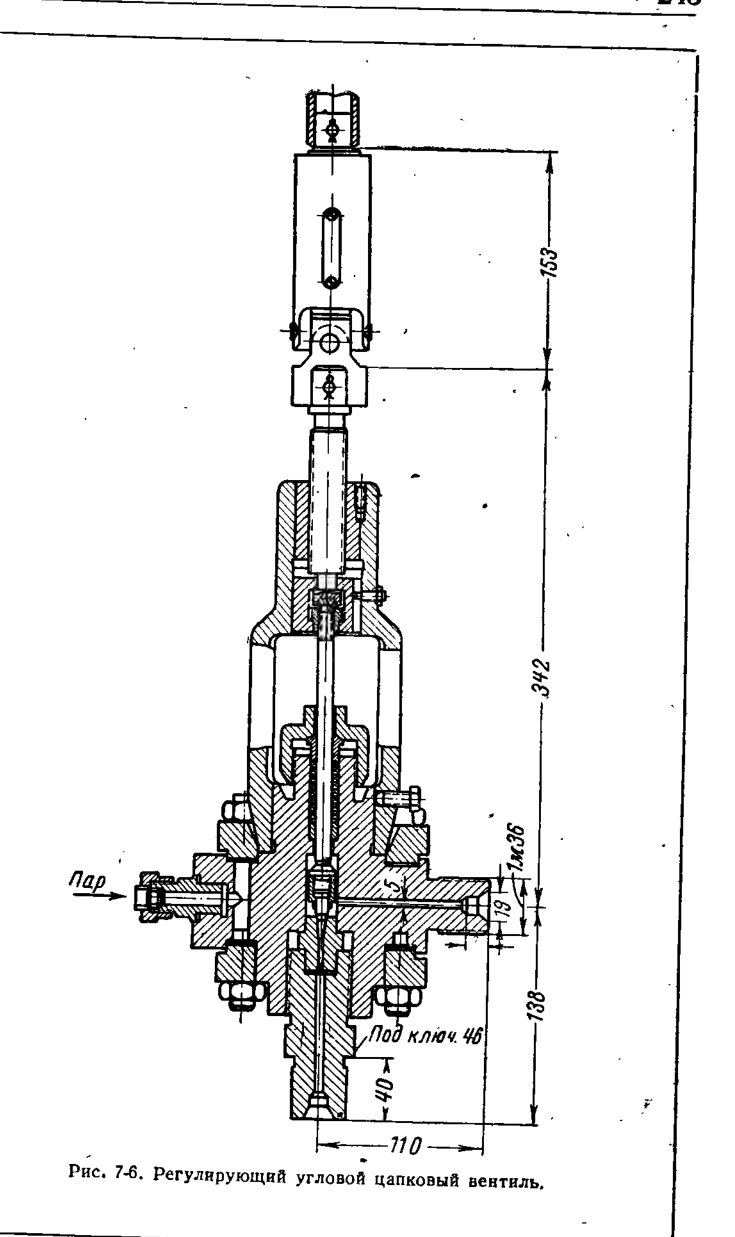


Рис. 7-6. Регулирующий угловой цапковый вентиль.

Таблица 7-11

Клапаны

Наименование клапана и завод-изготовитель	Условные давления, $кГ/см^2$	Диаметры условного прохода, *мм*	Рабочая среда
Венюковский завод			
Клапаны обратные	64	50, 80, 100, 150, 200	Вода $P = 64$ $кГ/см^2$ и $t = 120°$ C Вода и пар, $P = 50$ $кГ/см^2$ и $t = 300°$ C Пар, $P = 34$ $кГ/см^2$ и $t = 425°$ C
Клапаны предохранительные однорычажные грузовые	64	50	Насыщенный пар, $P = 34$ $кГ/см^2$
Клапаны двухрычажные	64	2×50	Перегретый пар, $P = 34$ $кГ/см^2$ и $t = 425°$ C
Клапаны однорычажные	16	80	Перегретый пар, $P = 13$ $кГ/см^2$ и $t = 200°$ C
Клапаны обратные горизонтальные	200	175	Вода, $P = 200$ $кГ/см^2$ и $t = 250°$ C
Клапаны обратные вертикальные	200	150, 175	
Клапаны предохранительные импульсные	100	150/80	Пар, $P = 100$ $кГ/см^2$ и $t = 510°$ C
Клапаны обратные (кованые)	100	20	Вода, $P = 200$ $кГ/см^2$ и $t = 250°$ C Вода и пар, $P = 150$ $кГ/см^2$ и $t = 320°$ C; пар, $P = 100$ $кГ/см^2$ и $t = 510°$ C.
Барнаульский завод			
Клапаны обратные штампованные	64	20	Вода, $P = 64$ $кГ/см^2$ и $t = 120°$ C
Клапаны обратные штампо-сварные	64	25	Вода и пар, $P = 50$ $кГ/см^2$ и $t = 300°$ C
Клапаны обратные литье	64	40, 50	Пар, $P = 34$ $кГ/см^2$ и $t = 425°$ C

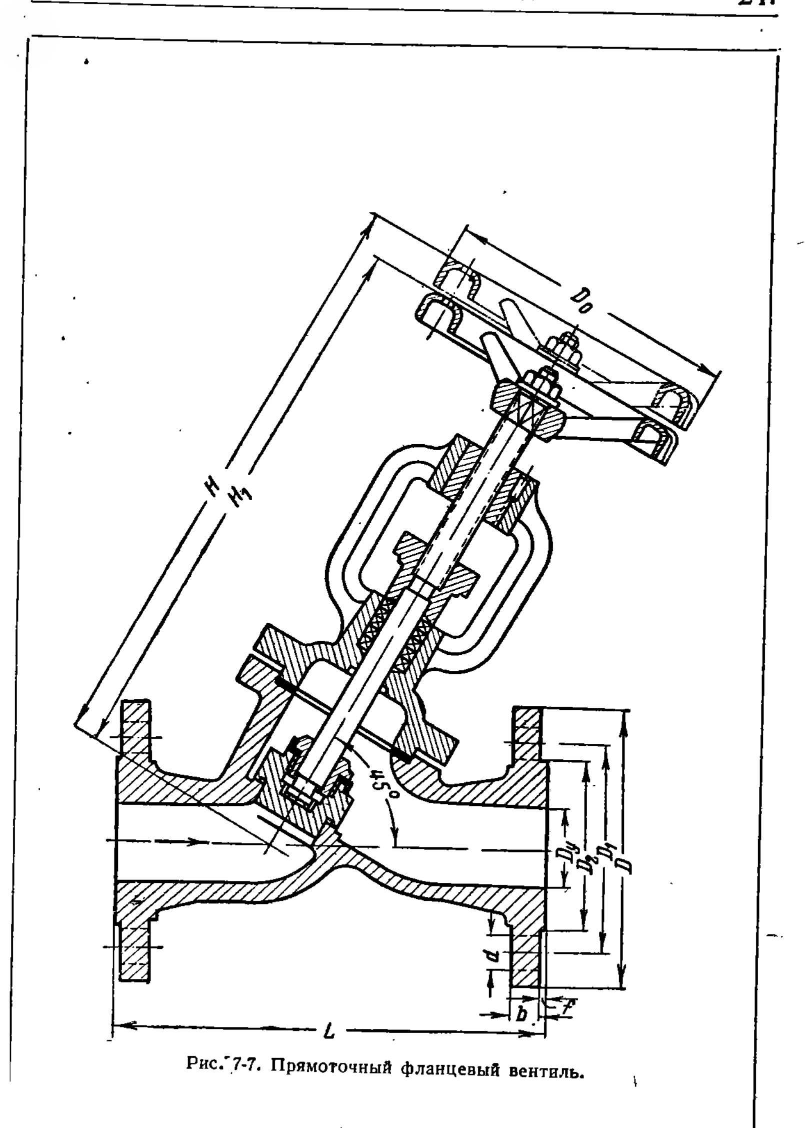


Рис. 7-7. Прямоточный фланцевый вентиль.

Таблица 7-12

Клапаны Невского машиностроительного завода им. Ленина, рассчитанных на рабочее давление до 34 *ати* и температуру до 425° С

Тип	Диаметр условного прохода, *мм*	Материал корпуса	Материал шпинделя	Материал тарелки	Материал уплотнительного кольца
Клапаны обратные	150—200	Литая углеродистой стали	—	—	Вытачивается из нержавеющей стали
Клапаны предохранительные	38—50	То же	Углеродистая сталь с последующим антикоррозийным покрытием	Кованые из нержавеющей стали	Хромоникелевая нержавеющая сталь

Таблица 7-13

Клапаны, изготовляемые заводами Главармалита

Тип клапана	Диаметр условного прохода, *мм*	Условные давления, $кГ/см^2$	Материал корпуса	Рабочая среда
Клапаны питательные фланцевые	50, 80, 100, 150	16	Чугун	Вода и пар до 275° С
Клапаны обратные	50, 80, 100, 150	16	Чугун	Вода и пар до 275° С
Клапаны приемные фланцевые с сеткой	50, 100, 150, 200	10	Чугун	Вода
Клапаны обратные питательные	50, 800, 100, 150	40	Сталь нержавеющая	Нефтепродукты
Клапаны предохранительные, рычажные одинарные	50, 80, 100, 150	16 25	Чугун Сталь углеродистая	Пар
То же двойные	50, 80, 100	16	Чугун	Вода и пар
То же редукционные пружинного типа „струбе"	25, 50, 100, 200	16 10	Чугун	Вода и пар

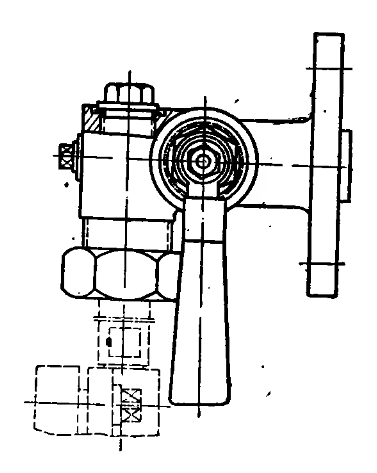


Рис. 7-8. Кран указателя уровня.

Конденсатоотводчики системы «Симплекс» изготовляются заводами Главгидромаша трех размеров. Максимальная производительность этих конденсатоотводчиков по каталогу Главгидромаша приводится в табл. 7-14.

Таблица 7-1

Максимальная производительность конденсатоотводчиков „Симплекс“, *кг/ч*

Номер конденсатоотводчика	Диаметр условного прохода, *мм*	Максимальный перепад давления, $кГ/см^2$			
		3	6	9	13
21/2	25	2 000	1 150	700	400
3	32	4 200	2 750	1 650	900
5	50	6 800	6 100	4 100	2 850

Уменьшение производительности с ростом перепада давления объясняется уменьшением диаметра шайб.

Конденсатоотводчики типа 45КЧ4бр изготовляются Главгидромашем. Они имеют обводной канал с особым вентилем для продувки, очистки, осмотра и ремонта конденсатоотводчиков без разъединения их с трубопроводами. Максимальная производительность конденсатоотводчиков типа 45КЧ4бр приводится по данным каталога Главгидромаша в табл. 7-15.

Под максимальной производительностью понимается часовой расход конденсата с температурой менее 100° С при полностью открытом клапане.

Таблица 7-15

Производительность и размеры конденсатоотводчика типа 45КЧ4бр. Температура конденсата 20° С

Технические характеристики	Номер конденсатоотводчика					
	00	0	1	2	3	4
Диаметр условного прохода, *мм*	15	20	25	(30)	40	50
Расход при $P = 10$ *ат*, *кг/ч*	800	1 600	3 000	4 500	7 000	1 000
Диаметр клапана, *мм*	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас чертежей химической аппаратуры, вып. 1. Теплообменники, Госхимиздат, 1950.

2. Берман С. С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок, Машгиз, 1959.

3. Гельперин Н. И., Дистилляция и ректификация, Госхимиздат, 1947.

4. Гребер Г., Эрк С. и Григулль У., Основы учения о теплообмене. Издательство иностранной литературы, 1958.

5. Изменения и дополнения к Нормам расчета элементов паровых котлов на прочность, изданным в 1957 г., Госэнергоиздат, 1959.

6. Идельчик И. Е., Справочник по гидравлическим сопротивлениям, Госэнергоиздат, 1960.

7. Информационное сообщение № ЦПК-21-Т, 1960.

8. Информационное сообщение № ЦПК-26-Т, 1958.

9. Информационное сообщение № ЦПК-72-Т, 1959.

10. Канторович З. Б., Основы расчета химических машин и аппаратов, Машгиз, 1960.

11. Касаткин А. Г., Процессы и аппараты химической технологии, Госхимиздат, 1960.

12. Каталог, Бойлеры ЦНИИТМАШ 9-3-07, 1958.

13. Каталог, Колонки деаэрационные, ЦНИИТМАШ 9-3-12, 1959.

14. Каталог, Маслоохладители, ЦНИИТМАШ 9-3-09, 1958.

15. Каталог, Кожухотрубчатые теплообменники, НИИХИММАШ, 1959.

16. Каталог, Подогреватели питательной и химочищенной воды, ЦНИИТМАШ 9-3-06.

17. Каталог-справочник, ч. 1, Промышленная турбопроводная арматура, 1960.

18. Кичигин М. А. и Костенко Г. Н., Теплообменные аппараты и выпарные установки, Госэнергоиздат, 1955.

19. Комаров А. М. и Лукницкий В. В., Справочник для теплотехников электростанций, Госэнергоиздат, 1949.

20. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М., Справочник по теплопередаче, Госэнергоиздат, 1959.

21. Лебедев П. Д. и Щукин А. А., Промышленная теплотехника, Госэнергоиздат, 1956.

22. Михеев М. А., Основы теплопередачи, Госэнергоиздат, 1956.

23. Нормы на химические аппараты и машины, № 2, НИИХИММАШ, Машгиз, 1949.

24. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность, Госэнергоиздат, 1957.

25. Оборудование и аппаратура для переработки нефти, т. IV, Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1959.

26. Перечень холодильного оборудования, ЦКБХМ, 1960.

27. Плановский А. Н., Николаев П. И., Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, Гостоптехиздат, 1960.

28. Промышленная трубопроводная арматура, 1955.

29. Рамм В. М., Абсорбционные процессы в химической промышленности, Госхимиздат, 1951.

30. Соловьев В. Н., Ермилов П. И., Стрельчук Н. А., Основы техники безопасности и противопожарной техники в химической промышленности, Госхимиздат, 1960.

31. Справочник теплотехника предприятий черной металлургии, т. II, Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1954.

32. Справочник химика, т. III, Госхимиздат, 1952.

33. Теплотехнический справочник, т. II, Госэнергоиздат, 1958.

34. Тищенко И. А., Общий метод расчета многокорпусного выпарного аппарата, ОНТИ, 1938.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

К

Л

М

Н

О

П

Р

Т



У



Х

6П2.2 *Григорьев В. А.* и др.
Г 83 **Краткий справочник по теплообменным аппаратам.** Под ред. П. Д. Лебедева. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962. 256 с. с черт.
Перед загл. авт.: В. А. Григорьев, Т. А. Колач, В. С. Соколовский, Р. М. Темкин.
6П2.2

Редактор *П. А. Антикайн* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 17/II 1962 г. Подписано в печать 23/VII 1962 г.
Т-08545 Бумага $84\times108^{1}/_{32}$ 13,12 печ. л. Уч.-изд. л. 14,2
Тираж 28 000 экз. Цена 81 коп. Зак. 2115

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.